



TRABAJO DE FIN DE CARRERA

TÍTULO DEL TFC: UPCSat-1: desarrollo, integración y caracterización de los paneles solares y el sensor óptico.

TITULACIÓN: Ingeniería Técnica Aeronáutica, especialidad Aeronavegación

AUTOR: Alfred Pedret Otero

DIRECTOR: Roger Jové Casulleras

CO-DIRECTOR: Adriano Camps Carmona

FECHA: 18/05/2012

Título: UPCSat-1: desarrollo, integración y caracterización de los paneles solares y el sensor óptico.

Autor: Alfred Pedret Otero

Director: Roger Jové Casulleras

Codirector: Adriano Camps Carmona

Fecha: 18 de mayo de 2012

Resumen

En este proyecto se detalla el proceso de montaje de los paneles solares del UPCSat-1, así como de los diferentes componentes y sensores que equipan estos paneles. Se ha realizado una detallada descripción del proceso y las técnicas utilizadas en el montaje, que ha permitido la detección de errores en el diseño y en los protocolos utilizados, obteniendo como resultado un proceso de montaje que garantiza el correcto funcionamiento de los paneles solares del UPCSat-1.

Se presentan los resultados de los test realizados a los paneles solares contruidos mediante el proceso de montaje descrito. Estos resultados certifican el correcto funcionamiento de los diferentes dispositivos y sensores, para lo que se han realizado test de simulación solar, test térmicos y test en cámara de vacío.

Este proyecto también describe los trabajos realizados para la instalación, configuración y test del sensor óptico que debe equipar el UPCSat-1. Durante el proceso de configuración de este sensor óptico, se detectaron errores y problemas de configuración en el software utilizado que forzaron la decisión de substituir el ordenador de a bordo (On Board Computer) así como el cambio del sensor óptico por otro con mejores prestaciones.

Los trabajos y datos presentados en este proyecto han permitido incrementar el conocimiento en la construcción y desarrollo de paneles solares para su uso en pico-satélites, así como en el desarrollo y configuración de los sensores ópticos que pueden equipar este tipo de satélites.

Title: UPCSat-1: development, integration and characterization of the solar panels and the optical sensor.

Author: Alfred Pedret Otero

Director: Roger Jove Casulleras

Co-director: Adriano Camps Carmona

Date: May, 18th 2012

Overview

This project details the process of assembling UPCSat-1 solar panels, and the different components and sensors fitted to these panels. It gives a detailed description of the process and techniques used in the assembly. The description allows the detection of errors both in the design and in the protocols used, resulting in an assembly process that ensures the proper functionality of UPCSat-1 solar panels.

The results of the tests made to the solar panels which have been built following the assembly process described, are presented certifying the proper operation of the different devices and sensors. Details of the results of the solar simulator, thermal and vacuum chamber tests are also provided.

This study also describes the work carried out for installation, configuration and testing of optical sensor that it has to equip the UPCSat-1. During the setup process of this optical sensor, errors and configuration problems in the software used were detected. This consequently forced the decision to replace the on board computer as well as changing the optical sensor by one with a better performance.

The work and data presented contributes to greater knowledge in the construction and development of solar panels for pico-satellites, as well as the development and configuration of the optical sensors that can equip these satellites.

Agradecimientos

Agradezco a Adriano Camps la oportunidad de formar parte de este proyecto y de este equipo, facilitándome todos los elementos y equipos necesarios para la realización de este proyecto de fin de carrera, su implicación y entusiasmo.

Sin menos importancia, quiero agradecer la implicación y dedicación del tutor de este proyecto, Roger Jové Casulleras, que en los momentos difíciles me ha ayudado y animado, que en todo momento ha planteado nuevos retos para el proyecto, y que gracias a su constancia y perseverancia, he tenido la oportunidad de colaborar en este proyecto.

Quisiera hacer una mención especial a Alberto Alonso Arroyo, pues gracias a su ayuda, colaboración, orientación y consejos, este proyecto ha alcanzado gran parte de sus objetivos.

Tampoco quiero dejar de hacer mención a todos los compañeros del Laboratorio, tanto técnicos, proyectistas como doctorandos ya que sin su apoyo este proyecto tampoco se hubiera podido realizar.

Finalmente, agradecer el apoyo proporcionado por mi familia, mis padres con su confianza en el éxito del proyecto, y en especial a mi mujer Mónica, cuya paciencia en los momentos difíciles ha sido imprescindible.

Sin olvidar a Sergio García, que desde la distancia, su confianza y estímulo han sido inestimables.

INDICE

INTRODUCCIÓN	1
CAPITULO 1. PANELES SOLARES.....	3
1.1. Configuración	3
1.1.1. Panel TOP	4
1.1.2. Panel BOTTOM	5
1.1.3. Panel LATERAL (1A,1B,1C).....	6
1.1.4. Panel LATERAL 2	7
1.1.5. Panel LATERAL CELSAT	8
1.2. Células Solares TASC SPECTROLAB	9
1.3. Sensor de Temperatura LM335	11
1.4. Diodo de Barrera 1N5819UR-1	12
CAPITULO 2. PROCESO DE MONTAJE DE LOS PANELES SOLARES	13
2.1. Instalación de células solares SPECTROLAB.....	14
2.1.1. Aplicación de EPOXY	15
2.1.2. Instalación células solares TASC SPECTROLAB.....	16
2.1.3. Fijación EPOXY células solares.....	17
2.2. Instalación de las Conexiones de las células solares.....	17
2.3. Instalación LM335, diodos de barrera, fotodiodo	18
2.3.1. Instalación Sensor de Temperatura LM335	18
2.3.2. Instalación de los diodos de barrera 1N5819UR-1	19
2.3.3. Instalación fotodiodo SLCD-61N1	20
2.3.4. Fijación EPOXY componentes: LM335, SLCD-61N1, y fotodiodo.....	21
2.4. Errores y Recomendaciones	22
2.5. Conclusiones	24
CAPITULO 3. CARACTERIZACIÓN DE LOS PANELES SOLARES.....	25
3.1. Acondicionamiento Eléctrico	26
3.1.1. Acondicionamiento LM335	26
3.1.2. Acondicionamiento BETATHERM	27
3.1.3. Acondicionamiento células solares TASC SPECTROLAB	28
3.2. Test Térmico	29
3.2.1. Panel TOP	30
3.2.2. Panel LATERAL 1A	31
3.2.3. Panel LATERAL 1B	32
3.2.4. Panel LATERAL 2	33
3.2.5. Análisis de Resultados del test térmico.....	34
3.3. Test Solar	35
3.3.1. Panel TOP	36
3.3.2. Panel LATERAL 1A	39

3.3.3.	Panel LATERAL 1B	40
3.3.4.	Panel LATERAL 2	41
3.3.5.	Análisis de resultados del test solar	42
3.4.	Test de Vacío.....	43
3.4.1.	Panel LATERAL 1A	46
3.4.2.	Análisis de resultados del test de vacío	49
CAPITULO 4. SENSOR ÓPTICO		51
4.1.	Micro cámara C328.....	51
4.2.	Descripción de funcionamiento cámara C328.....	52
4.3.	Integración cámara C328 con el ordenador de a bordo	53
4.4.	Programación Cámara C328.....	55
4.5.	Diagrama del protocolo de comunicación de la cámara C328.	56
4.6.	Substitución del sensor óptico y del ordenador de a bordo	57
CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES DEL PROYECTO Y LINEAS FUTURAS.....		59
BIBLIOGRAFIA		61

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Distribución de placas y nomenclatura en el UPC-Sat-1	3
Figura 2. Panel Solar TOP	4
Figura 3. Panel Solar BOTTOM	5
Figura 4. Panel Lateral (1A-1B-1C).....	6
Figura 5. Panel Lateral 2	7
Figura 6. Panel Lateral CELSAT	8
Figura 7. 2 TASC SPECTROLAB	9
Figura 8. Característica corriente-tensión célula TASC SPECTROLAB.....	9
Figura 9. Sensor Temperatura LM335 y Fotodiodo SLCD-61N1.....	11
Figura 10. Bomba de vacío y "lápiz" de succión	14
Figura 11. Puntos de aplicación EPOXY células solares TASC SPECTROLAB	15
Figura 12. Instalación célula solar utilizando bomba de vacío.....	16
Figura 13. Terminales positivo de las células solares TASC SPECTROLAB	17
Figura 14. Conexión de las células solares al panel.....	18
Figura 15. Posición sensor de temperatura LM335	18
Figura 16. Ubicación diodos de barra en placa LATERAL 1A,1B,1C	19
Figura 17. Movimiento de los diodos de barrera.....	20
Figura 18. Comprobación de continuidad de los diodos de barrera.	20
Figura 19. Terminales de conexión del fotodiodo SLCD-61N1.....	21
Figura 20. Detalle del conexionado del fotodiodo a la placa.	21
Figura 21. Error de conexión del sensor LM335 en las placas solares.	22
Figura 22. Solución error de conexionado del sensor LM335 para los test de validación.....	22
Figura 23. Sensor LM335 mal instalado provocando el cortocircuito de los pines del sensor ...	23
Figura 24. Acondicionamiento sensor de temperatura LM335	26
Figura 25. Conversión a T °C del sensor LM335 acondicionado.....	26
Figura 26. Acondicionamiento sensor de temperatura BETATHERM.....	27
Figura 27. Conversión a R[Ω] de la salida del sensor BETATHERM	27
Figura 28. Acondicionamiento Células solares TASC SPECTROLAB	28
Figura 29. Nevera WAECO Tropicool TC21FL	29
Figura 30. Esquema adquisición de datos Test Térmico.....	29
Figura 31. Curva comparativa Betatherm vs LM335 del panel TOP.	30
Figura 32. Curva característica Betatherm y LM335 del panel TOP.	30
Figura 33. Curva comparativa Betatherm vs LM335 del panel LATERAL 1ª	31
Figura 34. Curva característica Betatherm y LM335 del panel LATERAL 1A	31
Figura 35. Curva comparativa Betatherm vs LM335 del panel LATERAL 1B	32
Figura 36. Curva característica Betatherm y LM335 del panel LATERAL 1B	32
Figura 37. Curva comparativa Betatherm vs LM335 del panel LATERAL 2.....	33
Figura 38. Curva característica Betatherm y LM335 del panel LATERAL 2.....	33

Figura 39. Cañón de luz XQ-4000	Figura 40. Piranómetro APOGEE SP-110	35
Figura 41. Diseño del test solar.		35
Figura 42. Comparativa células solares, piranómetro y fotodiodo del panel Bottom.		38
Figura 43. Curva de tensión de las células solares del panel Bottom		38
Figura 44. Comparativa células solares, piranómetro y fotodiodo del panel Lateral 1A.		39
Figura 45. Curva de tensión de las células solares del panel Lateral 1A		39
Figura 46. Comparativa células solares, piranómetro y fotodiodo del panel Lateral 1B.		40
Figura 47. Curva de tensión de las células solares del panel Lateral 1B		40
Figura 48. Comparativa células solares, piranómetro y fotodiodo del panel Lateral 2.		41
Figura 49. Curva de tensión de las células solares del panel Lateral 2		41
Figura 50. Diseño del test de Vacío.		43
Figura 51. Panel solar en el interior de la cámara de vacío.		43
Figura 52. Cañón de luz y cámara de vacío en el durante el Test de Vacío		44
Figura 53. Cámara de vacío durante el Test de Vacío		44
Figura 54. Curva característica Betatherm vs LM335 test de vacío del panel lateral 1A		46
Figura 55. Comportamiento BETATHERM y LM335 en el test de vacío.		47
Figura 56. Curvas características fotodiodo SLCD-61N1A vs células solares.		48
Figura 57. Curva característica LM335 vs células solares TASC SPECTROLAB		49
Figura 58. Micro cámara C328.		51
Figura 59. Ejemplo de comando de control de la cámara C328-7640.		52
Figura 60. Ordenador de a bordo de vuelo PUMPKIN FLIGHT MODULE 710-D		53
Figura 61. Placa de desarrollo del ordenador de a bordo PUMPKIN DEVELOPMENT 710-D.		53
Figura 62. Placa de conexión cámara C328, memoria 256 KB SPI.		54
Figura 63. Placa de desarrollo PUMPKIN DEVELOPMENT 710-D con la placa de conexión de subsistemas.		54
Figura 64. Protocolo de comunicación con la cámara C328		56

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Rendimiento teórico del Panel solar TOP	4
Tabla 2. Rendimiento teórico del Panel solar BOTTOM	5
Tabla 3. Rendimiento teórico del Panel solar LATERAL 1A,1B,1C	6
Tabla 4. Rendimiento teórico del Panel solar LATERAL 2	7
Tabla 5. Parámetros Eléctricos y Datos Técnicos células solares TASC SPECTROLAB	9
Tabla 6. Parámetros eléctricos del sensor de temperatura BETATHERM	27
Tabla 7. Tabla de comandos de control de la cámara C328-7640	52

INTRODUCCIÓN

Desde que en 1999, la Stanford University y el California Polytechnic State University (Cal Poly) publicaron las especificaciones para la construcción de los denominados pico satélites, se han construido y lanzado con éxito 58 de estos nano satélites de este tipo contruidos principalmente por universidades de todo el mundo e incluso por empresas privadas.

De los pico satélites se originó el estándar CubeSat, como satélites operacionales con dimensiones no superiores a 10x10x10 cm, un máximo de 1,33 kg de masa y costes de lanzamiento no superiores a los 100.000 €.

Construidos con componentes comerciales de bajo coste y capaces de ser lanzados por las misiones comerciales de las diferentes agencias espaciales como carga útil en los dispositivos de lanzamiento denominados P-POD (Poly-PicoSatellite Orbital Deployer) con capacidad de hasta 3 pico satélites.

Este éxito ha demostrado la capacidad de las universidades para desarrollar y equipar pico satélites que puedan ser utilizados para la investigación y el desarrollo, ofreciendo a los estudiantes que realizan su tesis o trabajos de fin de carrera, la posibilidad de aplicar de forma directa los conocimientos adquiridos y ser aplicados en investigaciones en curso con unos objetivos y unos resultados visibles.

Iniciado en 2007, la UPC y en especial el grupo de teledetección pasiva (Passive Remote Sensing Group, PRSG) inicio el programa de desarrollo del UPCSat-1, un pico satélite de órbita elíptica baja basado en el estándar CubeSat

Los principales objetivos del UPCSat-1 son en si mismo su construcción y ser utilizado como demostrador tecnológico de diversas tecnologías: células peltier, células solares de diseño y construcción en la UPC, siendo la base de experiencia para el diseño de misiones mas complejas, si bien entre sus objetivos se encuentra la observación de la tierra y la realización de fotografías.

Para ello, este primer pico satélite a sido diseñado como una combinación de sistemas con certificación espacial, sistemas comerciales comunes y subsistemas de diseño y desarrollo propio como medida de equilibrio en la relación coste-riesgo.

El mayor esfuerzo económico ha sido realizado en los considerados sistemas críticos, como la computadora de a bordo (OBC), el sistema principal de energía (EPS) y los sistemas de comunicaciones, debido a que el fallo de uno de estos sistemas principales provocaría la perdida de contacto con el UPCSat-1 así como su control y seguimiento.

El presente proyecto, tiene como objetivo la presentación de los subsistemas de observación, que se realizara mediante una micro cámara LCD que realizara diferentes fotografías de la tierra, y el subsistema de recarga de energía, mediante el diseño y construcción de los paneles solares que equipan el UPCSat-1 para la recarga de las baterías.

En este proyecto, también se describen los trabajos realizados para el acondicionamiento y configuración del sensor óptico del UPCSat-1, así como los diversos intentos de programación del sensor óptico utilizando el ordenador de a bordo y que finalmente, debido a problemas de comunicación y de funcionamiento, obligaron a realizar un cambio de ordenador de a bordo y también del sensor óptico ante la imposibilidad de obtener un correcto funcionamiento.

De igual forma, el UPCSat-1 pretende ser el primero de una serie de pico satélites desarrollados por la UPC, liderada por el grupo de teledetección pasiva para la investigación en el campo de la telemetría y la teledetección utilizando señal GPS.

Con la esperanza de colaborar en esta nueva vía de investigación, este proyecto únicamente pretende hacer una modesta aportación y ser partícipe de este increíble y maravilloso proyecto.

CAPITULO 1. PANELES SOLARES

Los paneles solares son la fuente principal de energía para recargar las baterías de que dispone el CubeSat. Por ello, son elementos críticos para garantizar el tiempo de vida requerido para el desempeño de la misión.

1.1. Configuración

Las reducidas dimensiones del UPCSat-1 (10x10x10 cm) así como su misma configuración (cuadrado perfecto) han permitido diseñar 6 caras equipadas con paneles solares, utilizando el máximo espacio disponible en cada una de las caras.

Como demostrador tecnológico, el UPCSat-1 tiene 5 caras equipadas con células solares SPECTROLAB y una cara equipa con células CELSAT desarrolladas en el departamento de ingeniería electrónica de la UPC, para su prueba y testeo.

A continuación se presenta la configuración de las 6 caras.

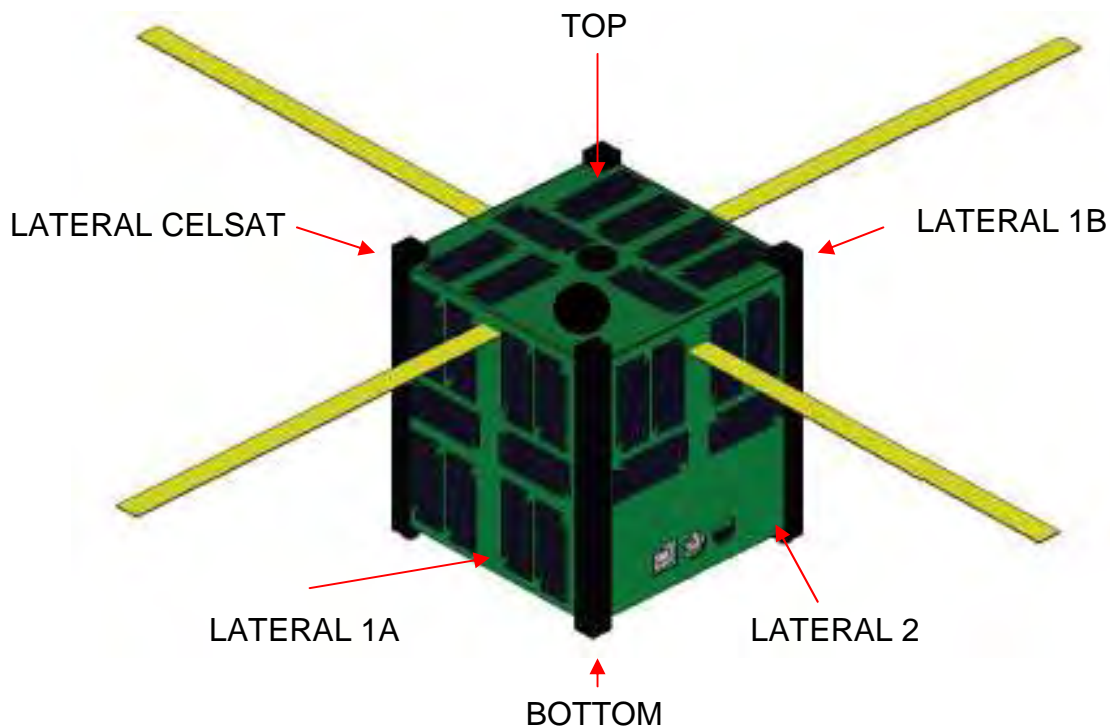


Figura 1. Distribución de placas y nomenclatura en el UPC-Sat-1

1.1.1. Panel TOP

Es el panel superior del CubeSat.

- Este panel tiene una perforación para el objetivo de la cámara fotográfica que equipa el CubeSat.
- Equipa un fotodiodo SLCD-61N1 para medir la intensidad de luz.
- Equipa un sensor de temperatura LM335
- Equipa 16 células solares SPECTROLAB en cuatro grupos de 4 células conectadas en serie.
- Equipa 4 diodos de barrera 1N5819UR-1

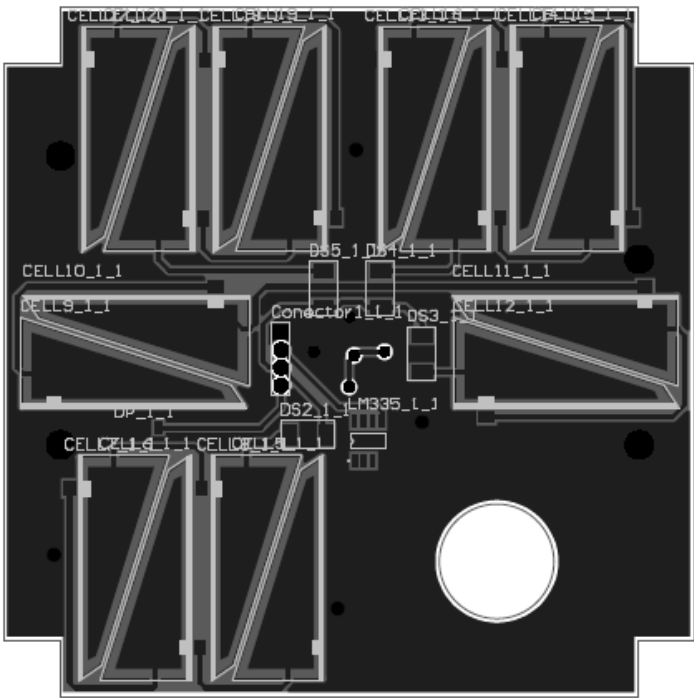


Figura 2. Panel Solar TOP

La distribución de células del panel ofrece el siguiente rendimiento teórico:

Tensión: 10,08 V	4 células en serie
Corriente: 124 mA	4 grupos de células en serie
Potencia: 1,24 W	

Tabla 1. Rendimiento teórico del Panel solar TOP

** Los datos de Tensión (V) y Corriente (A) teóricos de cada célula para este cálculo se han obtenido del datasheet de las células TASC SPECTROLAB

1.1.2. Panel BOTTOM

Es el panel inferior del CubeSat.

- Equipa un fotodiodo SLCD-61N1 para medir la intensidad de luz.
- Equipa un sensor de temperatura LM335
- Equipa 20 células solares SPECTROLAB en cinco grupos de 4 células en serie (en rojo, los grupos de células).
- Equipa 5 diodos de barrera 1N5819UR-1

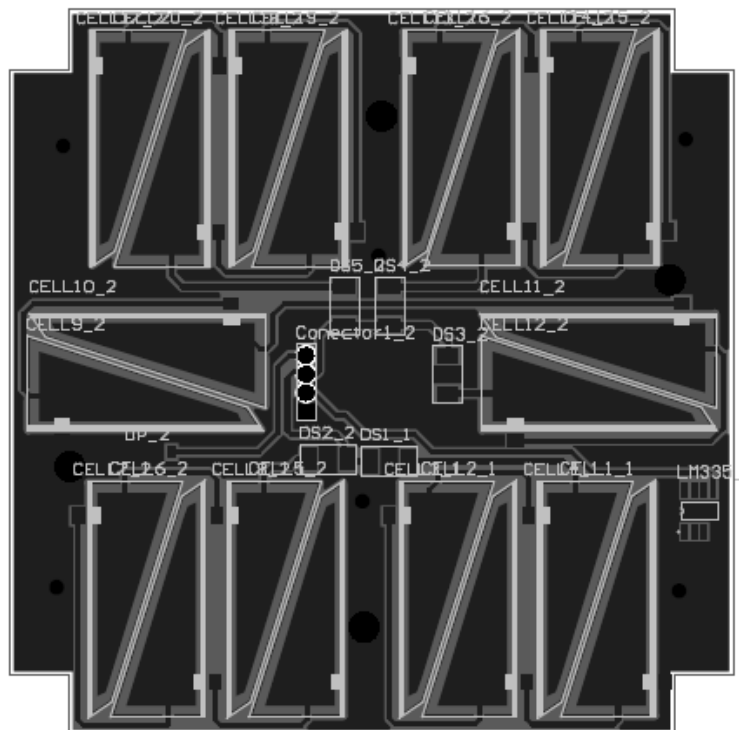


Figura 3. Panel Solar BOTTOM

La distribución de células del panel ofrece el siguiente rendimiento teórico:

Tensión: 10,08 V	4 células en serie
Corriente: 155 mA	5 grupos de células en serie
Potencia: 1,56 W	

Tabla 2. Rendimiento teórico del Panel solar BOTTOM

** Los datos de Tensión (V) y Corriente (A) teóricos de cada célula para este cálculo se han obtenido del datasheet de las células TASC SPECTROLAB

1.1.3. Panel LATERAL (1A,1B,1C)

Son 3 de los paneles laterales del CubeSat.

- El panel 1C es el panel de sustitución para el panel Lateral CELSAT.
- Equipan un fotodiodo SLCD-61N1 para medir la intensidad de luz.
- Equipa un sensor de temperatura LM335
- Equipa 20 células solares SPECTROLAB en cinco grupos de 4 células en serie.
- Equipa 5 diodos de barrera 1N5819UR-1

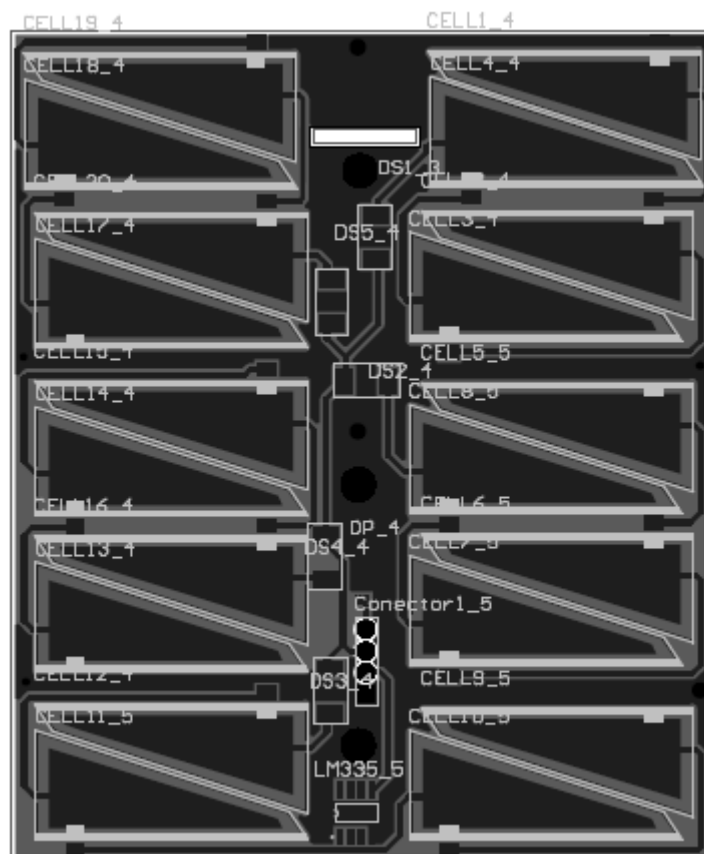


Figura 4. Panel Lateral (1A-1B-1C)

La distribución de células del panel ofrece el siguiente rendimiento teórico:

Tensión: 10,08 V	4 células en serie
Corriente: 155 mA	5 grupos de células en serie
Potencia: 1,56 W	

Tabla 3. Rendimiento teórico del Panel solar LATERAL 1A,1B,1C

** Los datos de Tensión (V) y Corriente (A) teóricos de cada célula para este cálculo se han obtenido del datasheet de las células TASC SPECTROLAB

1.1.4. Panel LATERAL 2

- Panel lateral de CubeSat que tiene acceso a las conexiones de lanzamiento
- Equipa un fotodiodo SLCD-61N1 para medir la intensidad de luz.
- Equipa un sensor de temperatura LM335
- Equipa 16 células solares SPECTROLAB en cinco grupos de 4 células en serie.
- Equipa 4 diodos de barrera 1N5819UR-1

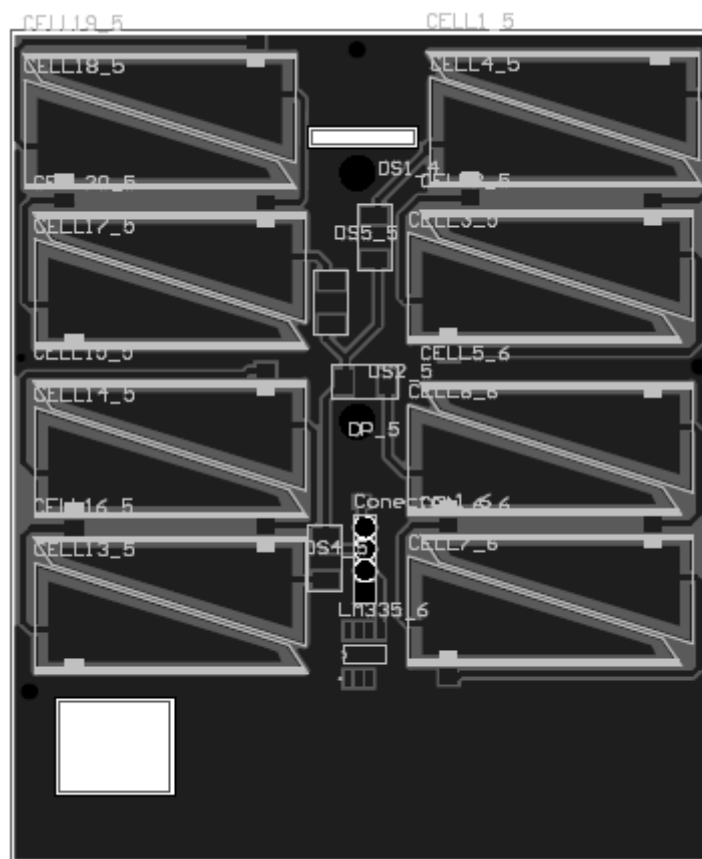


Figura 5. Panel Lateral 2

La distribución de células del panel ofrece el siguiente rendimiento teórico:

Tensión: 10,08 V	4 células en serie
Corriente: 124 mA	4 grupos de células en serie
Potencia: 1,24 W	

Tabla 4. Rendimiento teórico del Panel solar LATERAL 2

** Los datos de Tensión (V) y Corriente (A) teóricos de cada célula para este cálculo se han obtenido del datasheet de las células TASC SPECTROLAB

1.1.5. Panel LATERAL CELSAT

La cara número 6 del UPCSat-1 está previsto que equipe células solares CelSat. Desarrolladas en el departamento de Ingeniería Electrónica de la Universitat Politècnica de Catalunya. Con un rendimiento del 13%, muy inferior a las células SPECTROLAB, su tecnología es también diferente. Están basadas en Silicio cristalino con una pasivación en alúmina (Al_2O_3). El objetivo de equipar el satélite con estas células es poder ser probadas en el espacio para estudiar la degradación de la alúmina en el espacio. Estas células solares son consideradas una de las cargas útiles del satélite.

En la fecha de realización de este TFC, el departamento EEL de la UPC no disponía de personal ni presupuesto para la fabricación de células CELSAT, por lo que en caso de no poder equipar este panel, sería substituido por un panel LATERAL 1C

- Equipa un fotodiodo SLCD-61N1 para medir la intensidad de luz.
- Equipa un sensor de temperatura LM335
- Equipa 11 células solares CELSAT no agrupadas.
- Equipa 11 diodos de barrera 1N5819UR-1

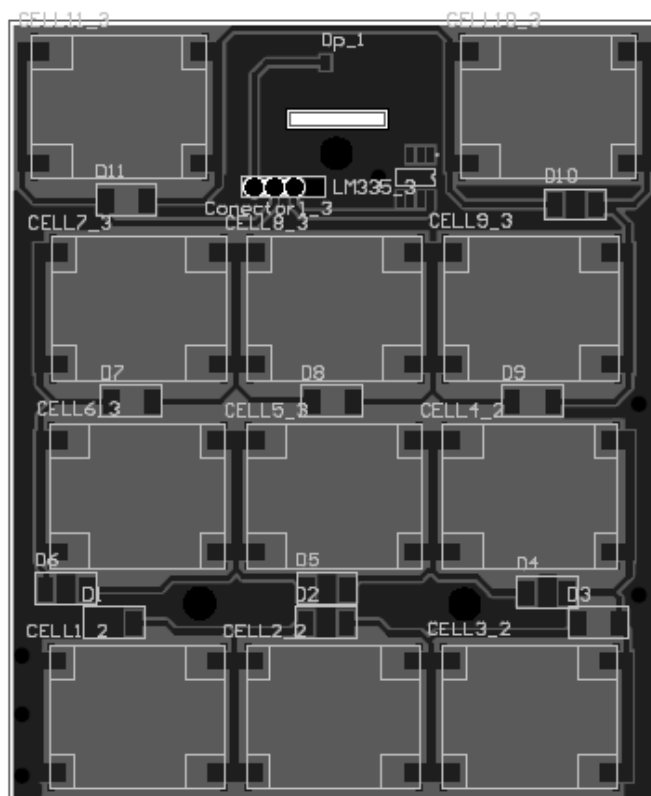


Figura 6. Panel Lateral CELSAT

1.2. Células Solares TASC SPECTROLAB

El diseño inicial equipa 5 caras con paneles solares triangulares TASC SPECTROLAB. Estas células solares ofrecen un alto rendimiento a pesar de sus reducidas dimensiones.

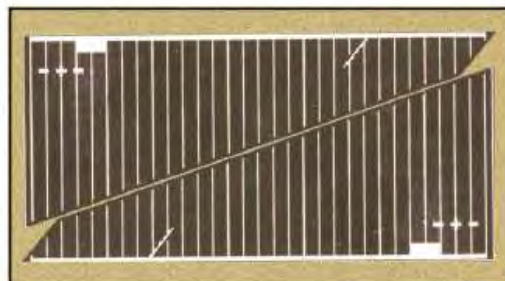


Figura 7. 2 TASC SPECTROLAB

Cada célula solar tiene capacidad para generar una corriente de 30 mA y un voltaje de hasta 2,52 V en exposición directa al sol, lo cual teniendo en cuenta una superficie 2,27 cm² ofrece niveles de eficiencia del 27% que en algunos casos llega hasta el 30%.

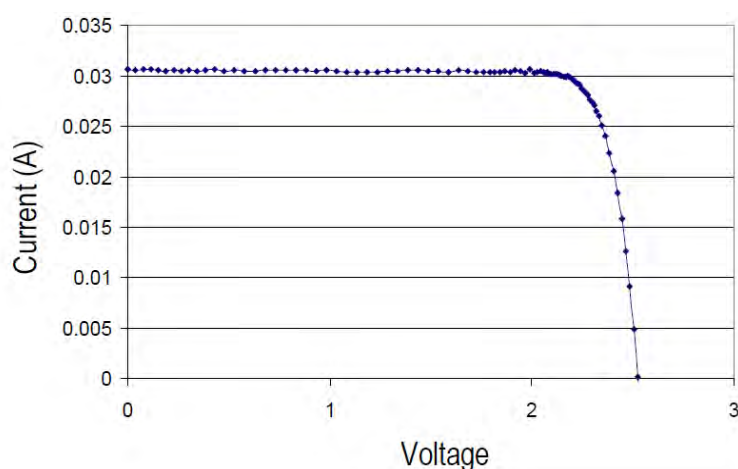


Figura 8. Característica corriente-tensión célula TASC SPECTROLAB

Cada célula tiene capacidad para generar una corriente de 30 mA con un voltaje de hasta 2,52 V.

Parámetros Eléctricos		Datos Técnicos	
1 sol, AM1,5G (100 mW/cm2) 25°C			
Isc	31 mA	Tipo de Célula	Triple-Junction Gallium Arsenide
Voc	2,52 V	Polaridad	n/p
Pmp	0,027 W/cm2	Grosor	190 μm (0,0075 in)
Eficiencia	27 ±3 %	Área	2,277 cm2
		Masa	0.234 g

Tabla 5. Parámetros Eléctricos y Datos Técnicos células solares TASC SPECTROLAB

El diseño de la distribución y conexión de las células solares en grupos responde a criterios de redundancia y de requisitos de carga de las baterías.

La unión en serie de 4 células ofrece niveles de tensión teóricos de 10,08 V y la unión de 4 o 5 grupos en paralelo ofrece niveles de corriente de entre 124 y 155 mA, energía necesaria y suficiente para la recarga de las baterías. La distribución y agrupación de las células solares permite mantener los paneles en redundancia, asegurando su funcionamiento continuo a pesar del fallo de una o varias células solares, o bien de un grupo de células al estar aisladas mediante los diodos de barrera, impidiendo la propagación de un cortocircuito o sobrecarga que pueda dañar el resto de células y grupos.

Se adquirieron 400 células solares TASC SPECTROLAB para equipar el UPCSat-1, si bien puede parecer un número excesivo, es necesario indicar que el lote adquirido fue un lote de resto de serie a bajo coste, en el que no se garantizaba que todas las células tuvieran el mismo coeficiente de eficiencia, y ni tan solo que todas fueran operativas, lo que requirió el test individual de las 400 células, caracterizando los parámetros eléctricos de cada célula, así como de parámetro de eficiencia, el cual consideramos como indicador de su calidad, y en el que se ha basado su selección para ser incluidas en los paneles de prueba.

Para el diseño y validación del proceso de montaje, así como la realización de pruebas con los paneles, se decidió utilizar una selección de células SPECTROLAB con un rendimiento entre el 26% y 29%, teniendo en cuenta que los paneles producidos serían considerados como banco de pruebas, reservando las células SPECTROLAB de mayor eficiencia para la construcción de los paneles solares de vuelo.

1.3. Sensor de Temperatura LM335

Se decidió equipar con un sensor de temperatura LM335 cada panel solar, con el objetivo de obtener datos de los procesos térmicos de los paneles solares del CubeSat.

El LM335 es un sensor de temperatura basado en el funcionamiento de un diodo Zener, en el que la caída de tensión es directamente proporcional a $10\text{mV}/^\circ\text{K}$.

Como ventajas de este sensor, se destaca:

- Bajo coste (inferior a 2 €)
- Salida lineal, lo que permite un rápido tratamiento de los datos obtenidos.
- Error menor a 1°C para un rango de medida de 100°C .
- Rango operativo de -40°C a 100°C
- Encapsulado y dimensiones reducidas.
- Capacidad de calibración
- Tiempos de respuesta rápidos.

A pesar de no ser un componente calificado para uso en el espacio, las pruebas en la cámara de vacío demuestran que puede funcionar en condiciones de vacío.

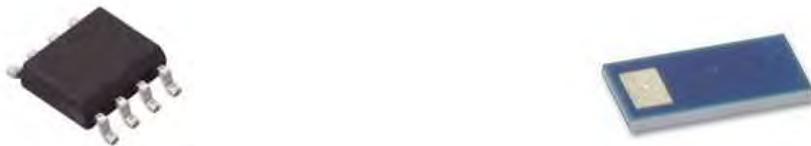


Figura 9. Sensor Temperatura LM335 y Fotodiodo SLCD-61N1

Todos los paneles solares equipan un fotodiodo SLCD-61N1, con el objetivo de determinar la exposición de cada panel a la luz solar, y a partir de estos datos, poder determinar la posición del UPCSat-1, así como su rotación.

El fotodiodo funciona de forma igual a una célula solar, ofreciendo una salida lineal de V en función del ángulo de incidencia del Sol, lo que permitirá determinar cuándo puede ser utilizada la cámara fotográfica que equipa el UPCSat-1 sin riesgo de que esta quede dañada por la exposición directa al Sol.

Igual que el sensor de temperatura LM335 su bajo coste y reducidas dimensiones han sido factores clave para su selección.

1.4. Diodo de Barrera 1N5819UR-1

La interconexión de los grupos de células solares se realiza mediante diodos de barrera 1N5819UR-1 que disponen de categoría SPACE/MIL.

Se determinó la necesidad de que este componente tuviera esta categoría ante la necesidad de poder aislar al máximo y con la mayor seguridad los grupos de células solares, de forma que el fallo o cortocircuito en una célula solar o en un grupo de células solares no comprometiera la integridad y el funcionamiento de todo el panel.

En los paneles equipados con células SPECTROLAB, cada grupo de células se conecta al módulo EPS (Energy Power System), responsable de la administración de la energía del UPCSat-1, así como del proceso de carga de la batería, a través de un diodo de barrera, mientras que en el panel de células solares CELSAT, cada célula es independiente y por tanto, se conecta al cargador individualmente a través de su propio diodo de barrera.

CAPITULO 2. PROCESO DE MONTAJE DE LOS PANELES SOLARES

El proceso de montaje de los paneles solares tiene como objetivo validar un proceso que garantice el correcto funcionamiento de los paneles y todos los componentes instalados. Durante el proceso, se han detectado errores y fallos de procedimiento que han servido para obtener una guía de montaje precisa.

Como principal característica del proceso de montaje se destaca el uso de resina EPOXY EPO-TEK H20E conductora como elemento de unión de todos los componentes que se instalan en los paneles solares. La decisión de substituir la soldadura con estaño por la EPOXY conductora se basa en la mayor resistencia de esta a los ciclos térmicos que sufrirá el UPcSat-1 en su misión, así como una mayor capacidad de resistencia a la vibración (fragilidad), requerida para soportar el proceso de lanzamiento.

La instalación de las células solares TASC SPECTROLAB requería el uso de la resina EPOXY conductora, en tanto en cuanto el polo negativo de cada célula se encuentra en la cara inferior de la misma, lo cual imposibilitaba el uso de soldadura.

Teniendo en cuenta que el proceso de “curación” de la EPOXY requiere un ciclo térmico en horno de 5 min a 150°C, el uso de estaño en el resto de componentes podía quedar comprometido al aplicar los ciclos térmicos de curación de la EPOXY.

La utilización de EPOXY como elemento de unión de los componentes, la manipulación de la misma, así como su proceso de “curación” en horno con ciclos térmicos de 5 min. a una temperatura de 150 °C, han determinado los pasos del proceso de montaje:

1. Instalación de células solares SPECTROLAB
2. Instalación de conexiones de células solares SPECTROLAB
3. Instalación de fotodiodo, sensor de temperatura y diodos

El proceso de montaje que se describe se ha realizado en un laboratorio para facilitar la mejora continua de los procesos y poder corregir y disponer de las herramientas necesarias para esta mejora. El montaje de paneles solares de vuelo debe realizar en una sala blanca para garantizar las condiciones del montaje.

2.1. Instalación de células solares SPECTROLAB

Las células solares TASC SPECTROLAB son de difícil manipulación, pues su fragilidad es muy alta, y su geometría triangular no facilita su manipulación con pinzas. Asimismo, su posicionamiento en el panel debe realizarse de forma vertical, de forma que las pinzas imposibilitan este procedimiento.

Por ello, para la manipulación de las células solares se utilizó una bomba de vacío unida a un "lápiz" con ventosa, utilizada normalmente para desoldar de chips.



Figura 10. Bomba de vacío y "lápiz" de succión

Para facilitar el posicionamiento de la EPOXY y procesos posteriores, se ha utilizado un microscopio óptico. La misma luz que incorpora el microscopio nos servirá para realizar la comprobación de funcionamiento de las células solares antes de realizar el proceso de "curación" de la EPOXY. En caso de que el microscopio no disponga de luz propia, se puede utilizar una bombilla de 60 W.

Adicionalmente, será necesario disponer del siguiente material:

- Pinzas plásticas de diferentes tamaños, para finalizar el posicionamiento de las células (el uso de pinzas metálicas puede dañar las células solares).
- Agujas de coser (para posicionar la EPOXY).
- Acetona (en caso de error, es el único material con que remover la EPOXY siempre que no se haya realizado el endurecimiento)
- Papel absorbente (para ser aplicado con la acetona y no dañar la placa).

Previo al inicio del proceso de montaje debe realizarse una limpieza de los placas con acetona para garantizar su limpieza y el correcto contacto de la EPOXY. Para ello, utilizaremos una bandeja y rociaremos acetona en las placas y las dejaremos secar. No debe utilizarse ningún tipo de papel para evitar los residuos que este pueda dejar.

El proceso que se describe debe realizarse para el montaje de cada célula solar.

2.1.1. Aplicación de EPOXY

La resina EPOXY EPO-TEK H20E conductora se comercializa en dos componentes separados, de forma que es necesario realizar una mezcla de ambos para obtener el producto final. Esta mezcla debe realizarse de acuerdo a las especificaciones del datasheet.

Es importante indicar que una vez mezclados los dos componentes empieza un proceso de solidificación que si bien tarda horas en ser efectivo, debe ser tenida en cuenta.

El comportamiento de la mezcla final es similar al de una crema, de forma que se puede manipular sin temor a que desplace como un líquido, lo cual ayuda a la hora de colocar los componentes y de corregir su posición si hay necesidad.

La resina EPOXY solo puede ser eliminada con acetona siempre que no se haya realizado el proceso de “curación” y no se haya endurecido.

Una vez en disposición del material indicado y de la mezcla correspondiente de EPOXY, realizaremos las siguientes acciones.

Se aplican puntos de EPOXY en la posición en que debe situarse una de las células con una aguja de coser de forma que dejamos una gota de reducidas dimensiones en cuatro puntos de la superficie triangular de la placa. Hay que tener en cuenta, que cuando se posiciona la célula solar, la EPOXY se esparcirá y es extremadamente importante que no sobrepase los límites de la célula, pues de ser así, puede producir un cortocircuito.

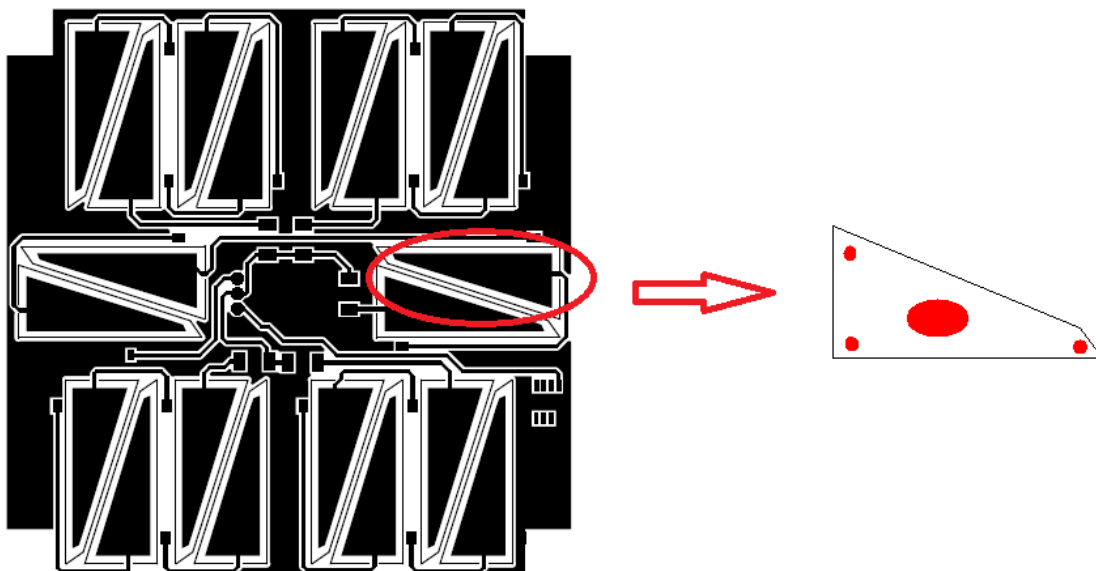


Figura 11. Puntos de aplicación EPOXY células solares TASC SPECTROLAB

2.1.2. Instalación células solares TASC SPECTROLAB

Se utiliza la bomba de vacío y el lápiz para coger la célula seleccionada y posicionarla verticalmente en la posición donde se ha depositado la EPOXY. Hay que tener la máxima precisión en este proceso para evitar que al contacto con la EPOXY la célula quede fuera de su posición, lo cual puede implicar que la EPOXY se disipe provocando un cortocircuito

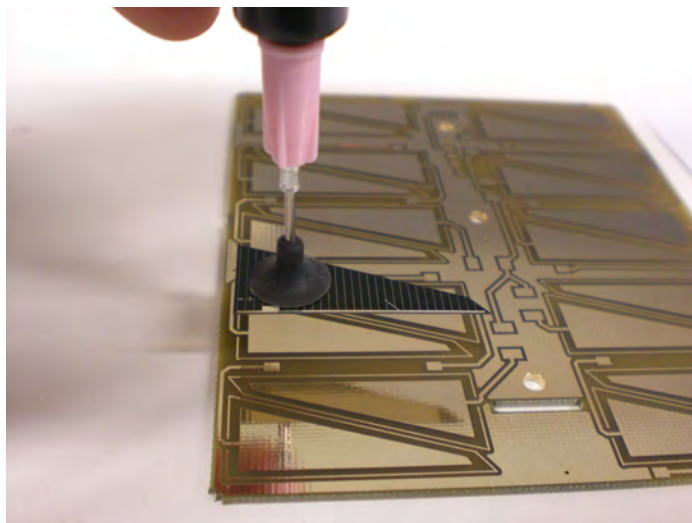


Figura 12. Instalación célula solar utilizando bomba de vacío.

Una vez situada la célula solar, utilizaremos las pinzas para definir la ubicación de la misma en su posición.

Después de colocar la célula solar, es necesario comprobar el correcto funcionamiento de la misma, pues si la EPOXY saliera de la zona indicada, puede producir un cortocircuito y la célula no funcionaría. Si esto sucediera, es necesario retirar la célula (utilizando la bomba de vacío) y limpiar la zona utilizando el papel absorbente y la acetona.

Para realizar la comprobación, será necesario situar el panel debajo de una bombilla de 60w y comprobar los terminales de conexión de la célula con un voltímetro.

En las pruebas realizadas, se ha comprobado que con luz directa de una bombilla de 60w, se obtiene una tensión de 1,8 V (aprox.), lo cual indicará que la célula está correctamente posicionada y que no hay ningún cortocircuito.

2.1.3. Fijación EPOXY células solares

El proceso de fijación de la EPOXY se realiza con un proceso de horneado a una temperatura de 150 °C durante 5 minutos. Este proceso endurece la EPOXY, por lo que no serán posibles modificaciones posteriores a este paso.

Se ha utilizado un horno de re-fusión de precisión SMT Elektor, en el que se ha programado un ciclo de 5 min a 150 °C.

2.2. Instalación de las Conexiones de las células solares

Las células solares TASC de SPECTROLAB deben conectarse al circuito del panel. La conexión negativa está en la parte inferior de la célula, y su conexión se ha realizado mediante la fijación de la resina EPOXY conductora en la parte inferior.

La conexión positiva de la célula se encuentra en la parte superior, por lo que es necesario realizar un bounding al circuito del panel.

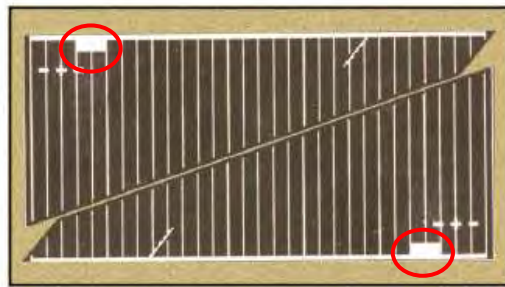


Figura 13. Terminales positivo de las células solares TASC SPECTROLAB

La conexión se realiza con un filamento de cobre de 2 mm de longitud.

Para realizar este proceso, es necesario el uso del microscopio, pues el área en el que hay que posicionar el filamento así como de la EPOXY es extremadamente reducida.

Se deposita una pequeña cantidad de EPOXY en los puntos de contacto de la conexión, de nuevo, con extremada precaución de que la EPOXY no sobrepase los puntos de conexión para evitar un posible cortocircuito. Posteriormente, con la ayuda de las pinzas, se deposita el filamento en la posición indicada asegurando que la EPOXY recubre los extremos de la conexión.

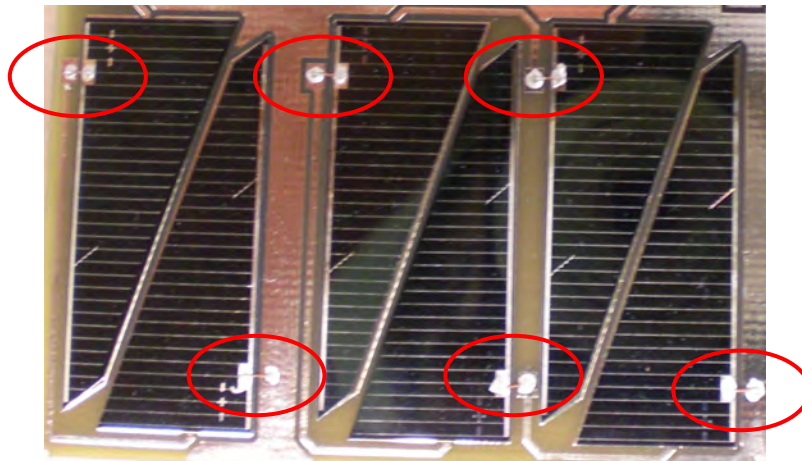


Figura 14. Conexión de las células solares al panel

El proceso de fijación de la EPOXY se realiza con un nuevo proceso de horneado a una temperatura de 150 °C durante 5 minutos.

Este proceso endurece la EPOXY, por lo que no serán posibles modificaciones posteriores a este paso.

2.3. Instalación LM335, diodos de barrera, fotodiodo

Finalizada la instalación de las células solares y las conexiones, se sigue el mismo procedimiento para la instalación del sensor de temperatura LM335, los diodos de barrera y el fotodiodo.

2.3.1. Instalación Sensor de Temperatura LM335

Se deposita EPOXY en los puntos de contacto de los pines del chip LM335.

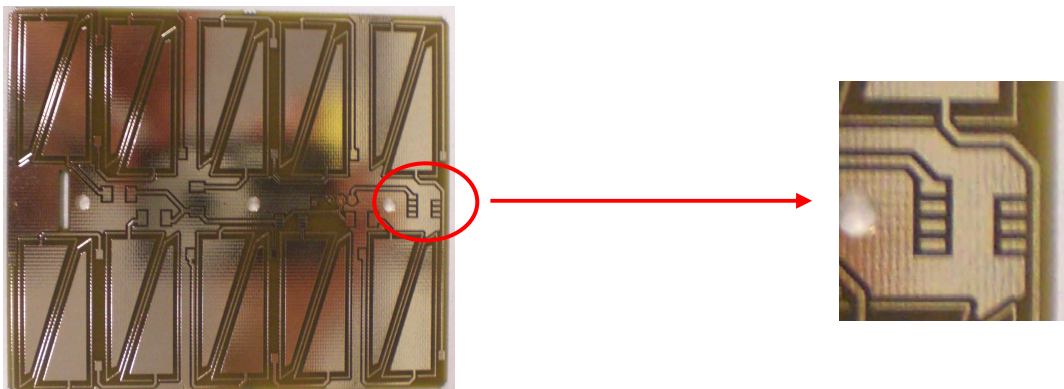


Figura 15. Posición sensor de temperatura LM335

Con la ayuda de pinzas, se posiciona el sensor en su ubicación, asegurando el contacto de los pines con la EPOXY. Debe tenerse especial precaución con este posicionamiento, pues debido a la proximidad de los pines, cualquier movimiento del sensor puede provocar el contacto de la EPOXY con los pins, produciendo un cortocircuito.

2.3.2. Instalación de los diodos de barrera 1N5819UR-1

Con el mismo procedimiento de montaje, debe tenerse precaución al instalar el diodo en la posición correcta del sentido de corriente, pues su instalación en posición inversa provocara que el grupo de células que controla el diodo de barrera no entreguen corriente al conector principal.

Se deposita EPOXY en los puntos de contacto del diodo de barrera.

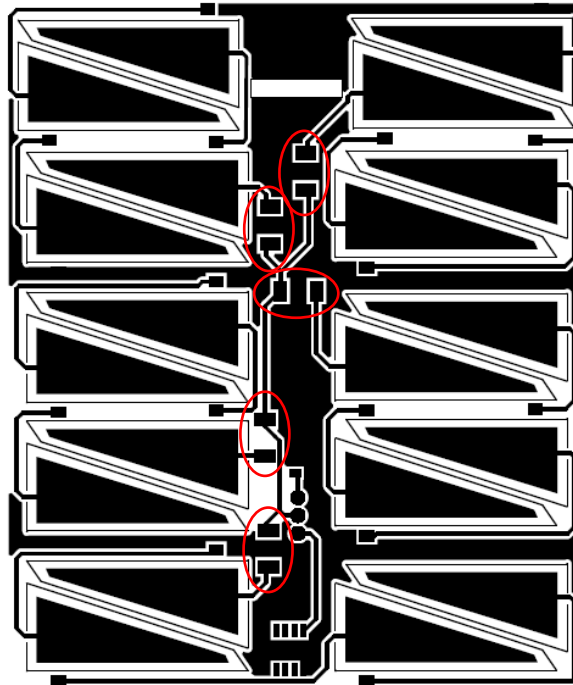


Figura 16. Ubicación diodos de barra en placa LATERAL 1A,1B,1C

Con la ayuda de pinzas, se posiciona el diodo de barrera en su ubicación, asegurando el contacto de los extremos de conexión con la EPOXY. Debe tenerse especial precaución con este posicionamiento, pues el diseño cilíndrico del diodo de barrera puede provocar un movimiento rodante en el momento de su posicionamiento, lo que provocaría que él mismo se pueda mover “rodando” y por tanto, extendiendo la EPOXY por el panel, provocando así posibles cortocircuitos, lo que obligaría a su limpieza.

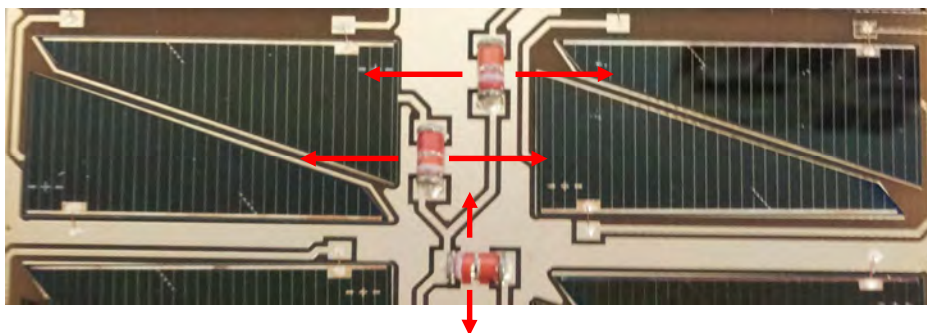


Figura 17. Movimiento de los diodos de barrera

Una vez posicionado el diodo de barrera, se utiliza un voltímetro con la opción de continuidad de señal para comprobar que hemos instalado el diodo de barrera en el sentido correcto.

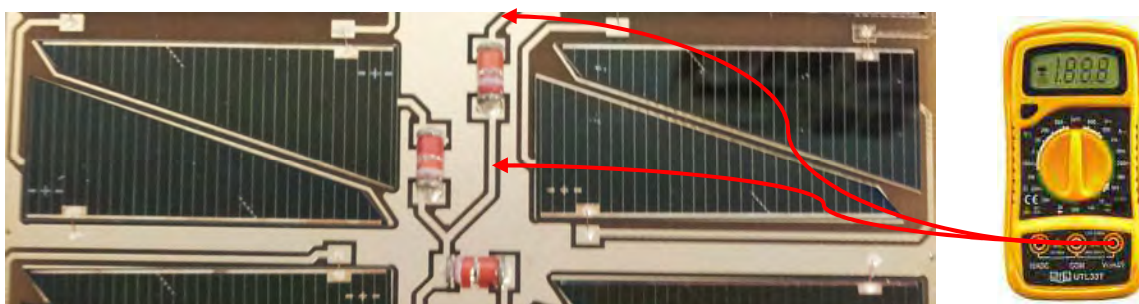


Figura 18. Comprobación de continuidad de los diodos de barrera.

Hay que repetir esta operativa para cada diodo de barrera del panel.

2.3.3. Instalación fotodiodo SLCD-61N1

La instalación del fotodiodo SLCD-61N1 es similar a la instalación de las células solares TASC SPECTROLAB, pues debe realizarse un bounding para realizar el conexionado entre el terminal positivo del fotodiodo y el circuito de la placa utilizando filamento de cobre de igual forma que se ha realizado con las células solares TASC SPECTROLAB.

El terminal negativo del fotodiodo, al igual que las células solares TASC SPECTROLAB está situado en la parte posterior del componente, donde se aplicará EPOXY para su fijación y conexionado a la placa.

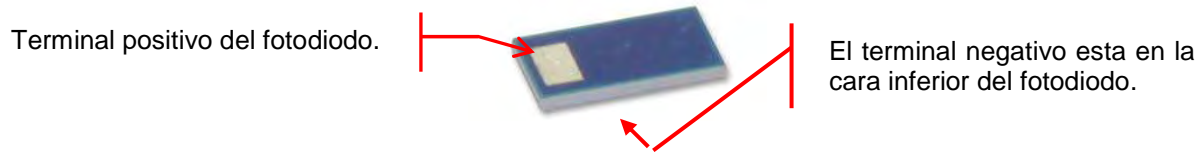


Figura 19. Terminales de conexión del fotodiodo SLCD-61N1

Para realizar este proceso, es necesario el uso del microscopio, pues el área en la que se debe posicionar el filamento así como de la EPOXY es extremadamente reducido.

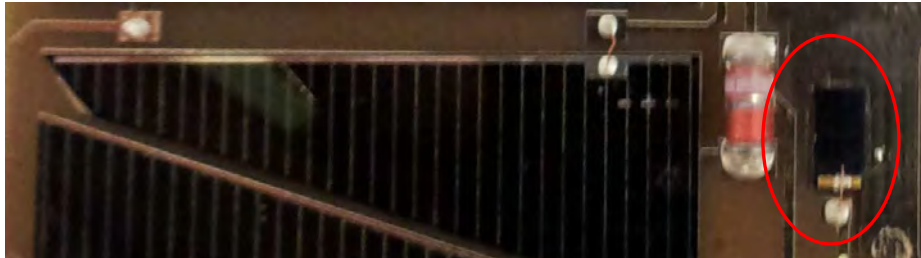


Figura 20. Detalle del conexionado del fotodiodo a la placa.

Se deposita una pequeña cantidad de EPOXY en los puntos de contacto de la conexión, de nuevo, con extrema precaución de que la EPOXY no sobrepase los puntos de conexión para evitar un cortocircuito. Posteriormente, con la ayuda de las pinzas, se deposita el filamento en la posición indicada asegurando que la EPOXY recubre los extremos de la conexión.

2.3.4. Fijación EPOXY componentes: LM335, SLCD-61N1, y fotodiodo.

Finalizada la instalación del sensor de temperatura LM335, el fotodiodo y los diodos de barrera, se fija la EPOXY con un nuevo ciclo de horneado durante 5 minutos y 150°C. De nuevo, debe tenerse precaución en el movimiento del panel para posicionarlo en el horno para evitar el movimiento de los elementos instalados, especialmente de los diodos de barrera (debido a su geometría cilíndrica) y del sensor de temperatura LM335.

Este proceso endurece la EPOXY, por lo que no serán posibles modificaciones posteriores a este paso.

2.4. Errores y Recomendaciones

Durante el proceso de montaje de los paneles solares se han detectado errores del proceso así como procedimientos que deben tenerse en cuenta para la construcción de los paneles de vuelo con el proceso descrito.

- Durante el proceso de montaje, se detectó un error en el conexionado del panel para el sensor de temperatura LM335 de todas las placas. El error fue el incorrecto conexionado del pin nº 5 del LM335 (en verde en la figura) en lugar de conectar el pin nº 8. Este error provocaría que el sensor LM335 no tuviera alimentación positiva y por tanto que el sensor no funcionara.

Este error ha sido documentado y corregido en los ficheros de diseño de las placas para futuras placas adicionales que se construyan.

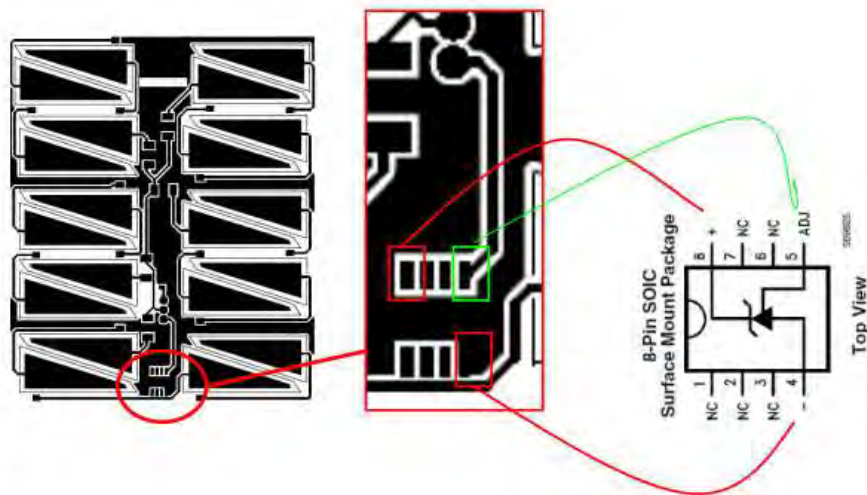


Figura 21. Error de conexión del sensor LM335 en las placas solares.

Para validar el funcionamiento del sensor en los paneles de prueba construidos se decidió conectar mediante EPOXY durante el proceso de instalación del sensor los pines 8,7,6, y 5. Previamente se comprobó que este conexionado no alteraba el funcionamiento del sensor.

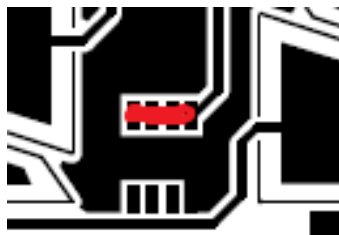


Figura 22. Solución error de conexionado del sensor LM335 para los test de validación.

- **EPOXY.** La manipulación de la resina EPOXY debe realizarse con el máximo cuidado pues el hecho de que sea conductora puede conllevar a cortocircuitos. Por ello, es sumamente importante comprobar el funcionamiento de cada componente antes de iniciar el proceso de “curación” en horno, pues finalizado este proceso, no es posible realizar reparaciones y se tendría que desechar la placa.

El uso de acetona para retirar la EPOXY que accidentalmente esté situada fuera de su ubicación y que sea susceptible de provocar cortocircuitos debe realizarse utilizando un microscopio para asegurar que no quedan restos de EPOXY que a simple vista no sean perceptible. Esta situación se ha verificado durante el proceso de montaje descrito por lo que se recomienda examinar la totalidad del panel con microscopio antes de iniciar el proceso de “curación”.

Como se ha descrito en el proceso de montaje, el comportamiento de la EPOXY es el de un material viscoso, y por tanto, los componentes quedan fijados por la viscosidad del mismo antes de iniciar el proceso de “curación” en el horno. Igualmente, es necesario prestar la máxima atención y cuidado en la manipulación del panel al introducir el mismo en el horno, pues cualquier movimiento brusco puede provocar el movimiento de un componente y en consecuencia, la resina EPOXY puede provocar cortocircuitos. Esta situación se muestra en la siguiente fotografía en la que el sensor de temperatura LM335 del panel BOTTOM, quedó desplazada y en consecuencia, el sensor de temperatura quedó inoperativo.

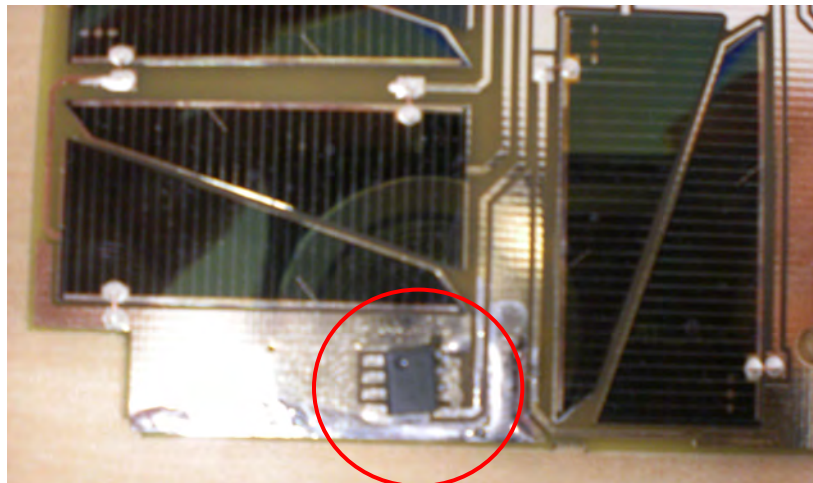


Figura 23. Sensor LM335 mal instalado provocando el cortocircuito de los pines del sensor

2.5. Conclusiones

Finalizado el proceso de montaje y aplicadas las correcciones y recomendaciones descritas, se concluye que:

- El proceso se debe realizar en SALA BLANCA para el montaje de paneles de vuelo, evitando cualquier tipo de contaminación, siendo posible realizar en dicha sala pruebas mínimas de comprobación de funcionamiento de los paneles.
- El uso de EPOXY como elemento de unión de componentes se demuestra muy efectivo y resistente, por lo que debería ser tenido en cuenta para ser utilizado en otros elementos del CubeSat.
- Las pruebas realizadas y presentadas en el CAPÍTULO 3 demuestran que el proceso de montaje es altamente eficaz, obteniendo montajes con altos grados de precisión atendiendo a los materiales y técnicas utilizadas.

CAPITULO 3. CARACTERIZACIÓN DE LOS PANELES SOLARES

Como método de validación del proceso de montaje, así como del correcto funcionamiento de los elementos instalados, se han diseñado una serie de test de validación en diferentes entornos que tienen como objetivo caracterizar y comprobar el funcionamiento de los componentes instalados en los paneles solares:

- Células solares TASC SPECTROLAB
- Sensor de temperatura LM335
- Fotodiodo

Descripción de los test de validación de Componentes.

- Test Térmico → Caracterización sensor LM335
- Test Solar → Caracterización células solares y fotodiodo.
- Test Cámara de vacío → Comprobación de funcionamiento en entorno de vacío.

Para la adquisición y almacenamiento de los datos de los test, se ha utilizado un datalogger PICO ADC-16, con una resolución máxima de 16 bits y una error de lectura del 0,2 % conectado a un PC para su posterior análisis.

Los datos han sido analizados y graficados mediante MATLAB.

3.1. Acondicionamiento Eléctrico

La realización de los test ha requerido el acondicionamiento de algunos sensores y componentes para la adquisición de datos, pues el datalogger utilizado PICO ADC-16 tiene un rango de entrada de $\pm 2,5$ V.

A continuación se detalla el acondicionamiento de los sensores basado en las indicaciones de los datasheet de cada componente, que pueden ser consultados en los anexos.

3.1.1. Acondicionamiento LM335

Se realiza el siguiente acondicionamiento:

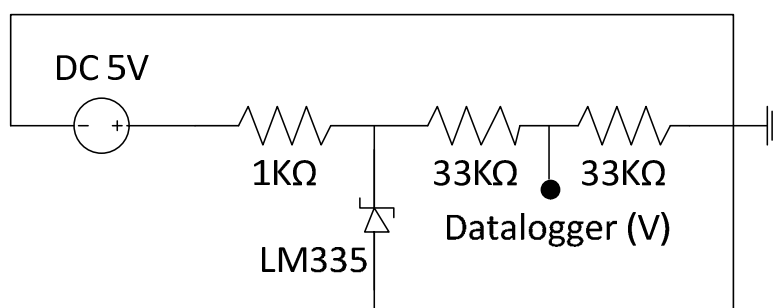


Figura 24. Acondicionamiento sensor de temperatura LM335

El sensor de temperatura LM335 requiere de un resistencia de carga de 1kΩ tal como indica el datasheet del componente.

Debido a la limitación del rango de entrada del datalogger PICO ADC-16 (rango de entrada de $\pm 2,5$ V) se ha instalado un divisor de tensión (con valor $\frac{1}{2}$) para la señal de salida del LM335 utilizando resistencias de $\frac{1}{4}$ W de 68KΩ. El sensor de temperatura LM335 es un diodo Zener que tiene en su salida una caída de tensión de 10 mv/°K.

La conversión al valor de T en °C se realiza utilizando la siguiente formula:

$$T(^{\circ}C) = \left[\frac{V_1}{10} \times \left[\frac{1}{0,5} \right] \right] - 273,15$$

Figura 25. Conversion a T °C del sensor LM335 acondicionado

Siendo V1 la tensión de salida del divisor de tensión y la entrada al datalogger.

3.1.2. Acondicionamiento BETATHERM

Este sensor se utiliza como comparador del sensor de temperatura LM335 para los test térmicos y test de vacío.

Como se ha descrito anteriormente, el sensor BETATHERM es un termistor NTC (Negative Temperature Coefficient).

Parámetros Eléctricos BETHATHERM	
Termistor NTC	
Resistencia a 25 °C	10.000 Ω
Tolerancia 0°C – 70 °C	±0,2
Rango Operativo	-40 °C - +125 °C

Tabla 6. Parámetros eléctricos del sensor de temperatura BETATHERM

El BETATHERM es una resistencia variable en función de la temperatura, por lo que el acondicionamiento tiene como objetivo convertir su valor de $R(\Omega)$ en valores de tensión (V) para la entrada del datalogger.

Se realiza el siguiente montaje para su acondicionamiento:

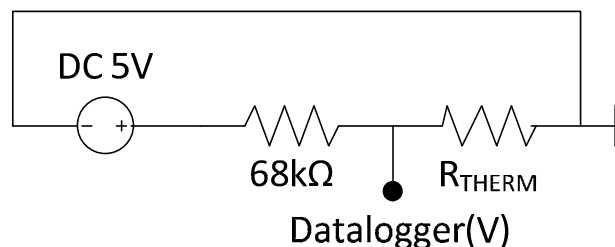


Figura 26. Acondicionamiento sensor de temperatura BETATHERM

Se utiliza una resistencia de 68 K[Ω] para medir la caída de tensión del BETATHERM y poder almacenar la medida con el datalogger.

La conversión al valor de R se realiza utilizando la siguiente formula:

$$R(\Omega) = \frac{\left[\frac{V_1}{1000} \times 68k\Omega \right]}{V_{DC} - \frac{V_1}{1000}}$$

Figura 27. Conversión a R[Ω] de la salida del sensor BETATHERM

**Siendo V_1 la tensión de salida del divisor de tensión y la entrada al datalogger.

**Siendo V_{DC} la tensión de alimentación $V_{DC} = 5 \text{ V}$.

Utilizando el datalogger, se puede medir la caída de tensión, para, posteriormente, aplicando la formula descrita obtener los valores de $R[\Omega]$ del BETATHERM, que mediante la consulta de la tabla de correspondencia que proporciona el datasheet del componente, obtener los valores de $T [^{\circ}\text{C}]$.

3.1.3. Acondicionamiento células solares TASC SPECTROLAB

De nuevo, debido a la limitación del rango de entrada del datalogger PICO ADC-16 (rango de entrada de $\pm 2,5\text{V}$) se ha instalado un divisor de tensión para adaptar la entrada al datalogger.

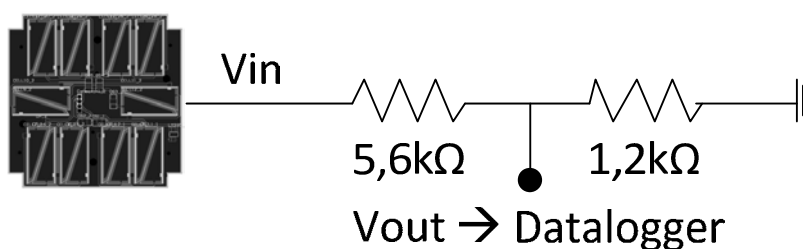


Figura 28. Acondicionamiento Células solares TASC SPECTROLAB

Basándonos en los cálculos teóricos de rendimiento de los paneles solares descritos en el capítulo 1.1. *Configuración* se ha instalado un divisor de tensión utilizando dos resistencias de $5,6\text{ K}[\Omega]$ y $1,2\text{ K}[\Omega]$ respectivamente que nos da un valor de 0,1764 del valor de tensión de entrada, necesario para no superar el límite en la entrada del datalogger de $\pm 2,5\text{ V}$.

3.2. Test Térmico

Para la caracterización del sensor de temperatura instalado en los paneles, se ha realizado un test de temperatura utilizando como elemento de validación y comparación un termistor NTC BETATHERM.

El test consiste en aplicar un gradiente de temperatura frío-caliente entre 5 °C y 60 °C utilizando una nevera WAECO para comprobar el funcionamiento del sensor de temperatura LM335, utilizando como comparador y elemento de referencia el sensor BETATHERM.



WAECO Tropicool TC21FL	
Sistema	Termoeléctrico (Sistema Peltier)
Refrigeración	Max. 30 °C por debajo de temperatura ambiente
Calentamiento	+50 °C hasta +65 °C

Figura 29. Nevera WAECO Tropicool TC21FL

La adquisición de datos ha requerido el siguiente montaje en protoboard:

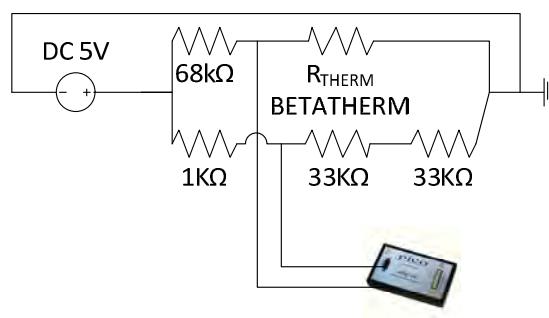


Figura 30. Esquema adquisición de datos Test Térmico

Se ha realizado este test en los 4 paneles solares operativos (el sensor de temperatura LM335 del panel BOTTOM quedo inutilizado en el proceso de montaje como se ha descrito en el *Capítulo 2. Proceso de Montaje*) de los que se han obtenido los siguientes resultados.

A continuación se presentan los resultados obtenidos de los test realizados.

3.2.1. Panel TOP

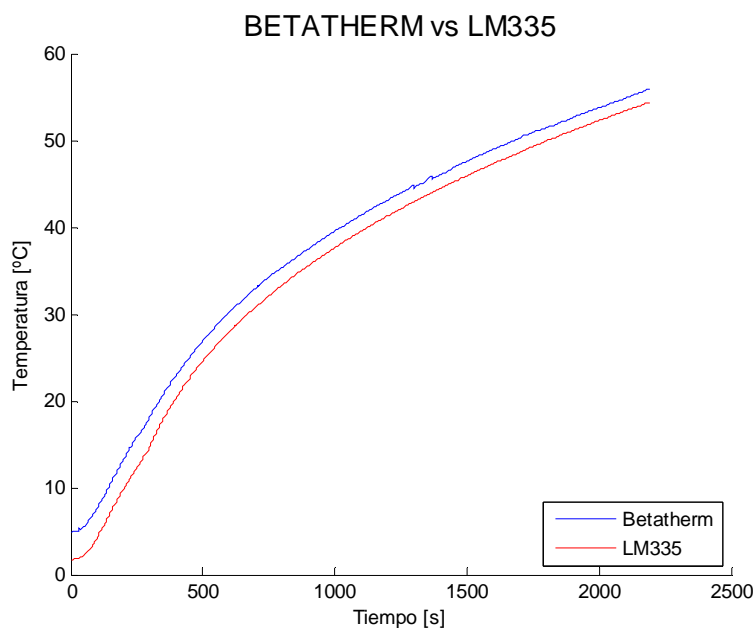


Figura 31. Curva comparativa Betatherm vs LM335 del panel TOP.

La gráfica muestra el comportamiento de los sensores en el gradiente de temperatura aplicado. Se observa el sesgo entre los dos sensores que tiene su origen en su diferente calibración, y además se confirma el correcto funcionamiento del sensor de temperatura LM335.

Las siguientes gráficas muestran el comportamiento individual de cada sensor durante la realización del test.

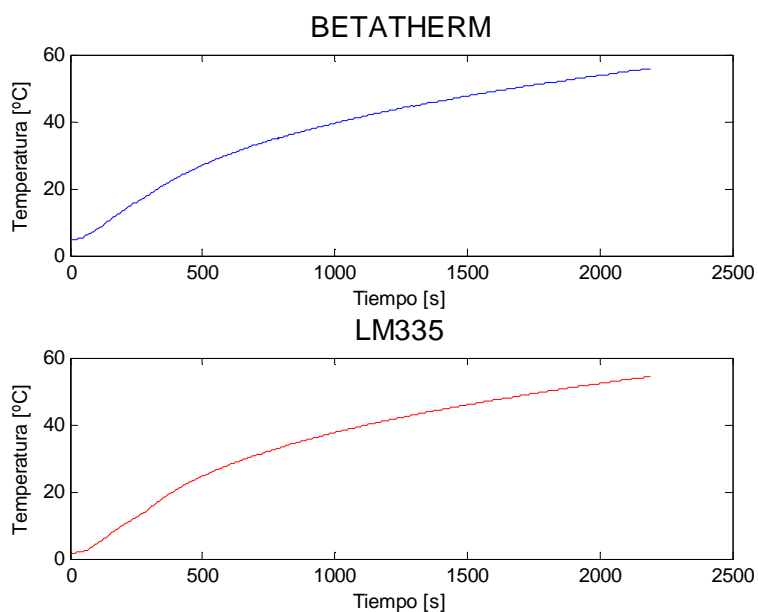


Figura 32. Curva característica Betatherm y LM335 del panel TOP.

3.2.2. Panel LATERAL 1A

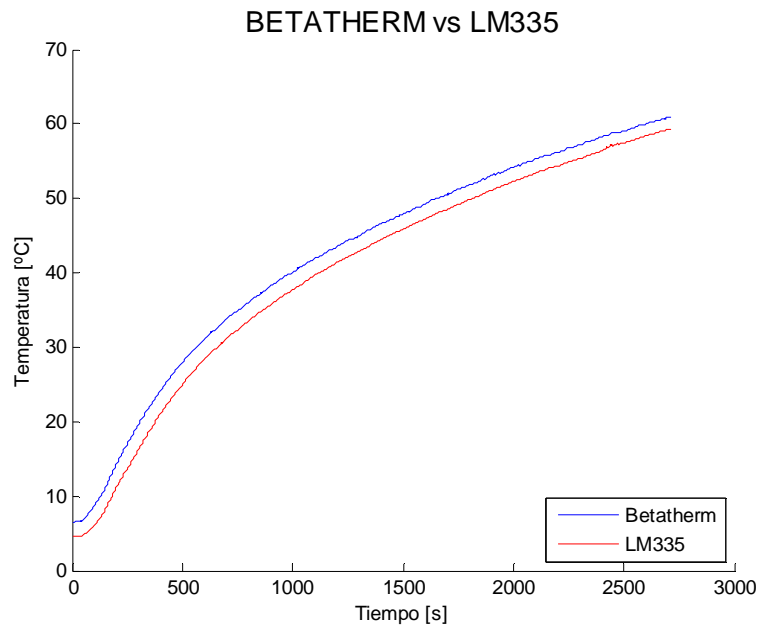


Figura 33. Curva comparativa Betatherm vs LM335 del panel LATERAL 1ª

La gráfica muestra el comportamiento de los sensores en el gradiente de temperatura aplicado forma muy similar a la observada en el panel TOP. El test valida el correcto funcionamiento de los sensores así como de su calibración.

Las siguientes gráficas muestran el comportamiento individual de cada sensor durante la realización del test.

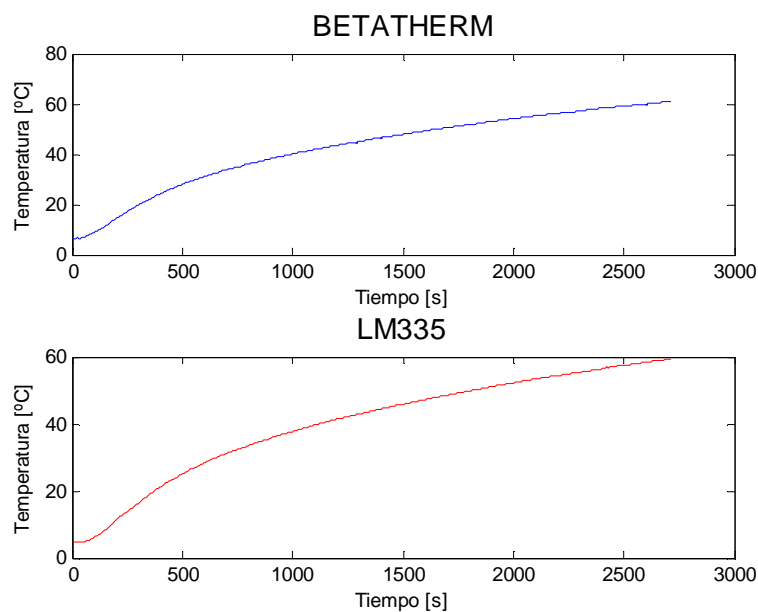


Figura 34. Curva característica Betatherm y LM335 del panel LATERAL 1A

3.2.3. Panel LATERAL 1B

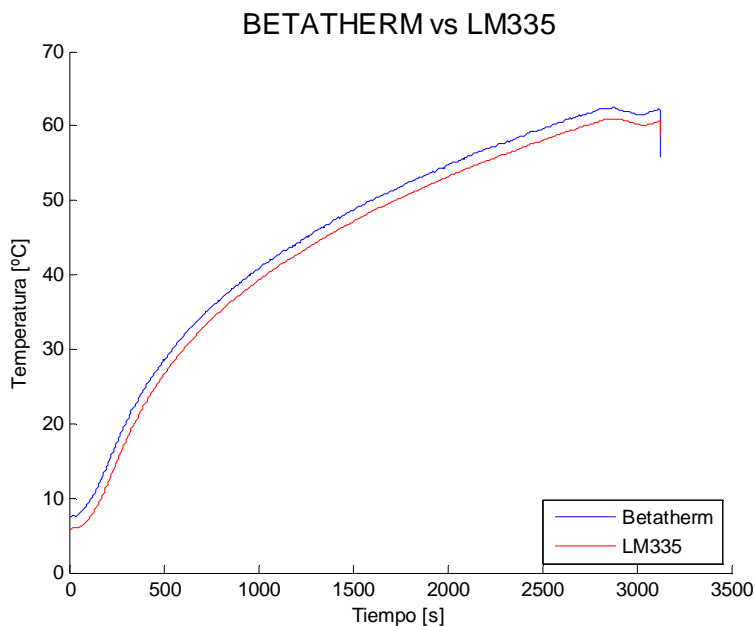


Figura 35. Curva comparativa Betatherm vs LM335 del panel LATERAL 1B

La gráfica muestra el comportamiento de los sensores en el gradiente de temperatura aplicado. Durante la realización de este test, se comprobó la respuesta de los dos sensores a una variación de la temperatura en el límite superior del gradiente, que corroboró tiempos de respuesta similares para ambos sensores.

Las siguientes gráficas muestran el comportamiento individual de cada sensor durante la realización del test.

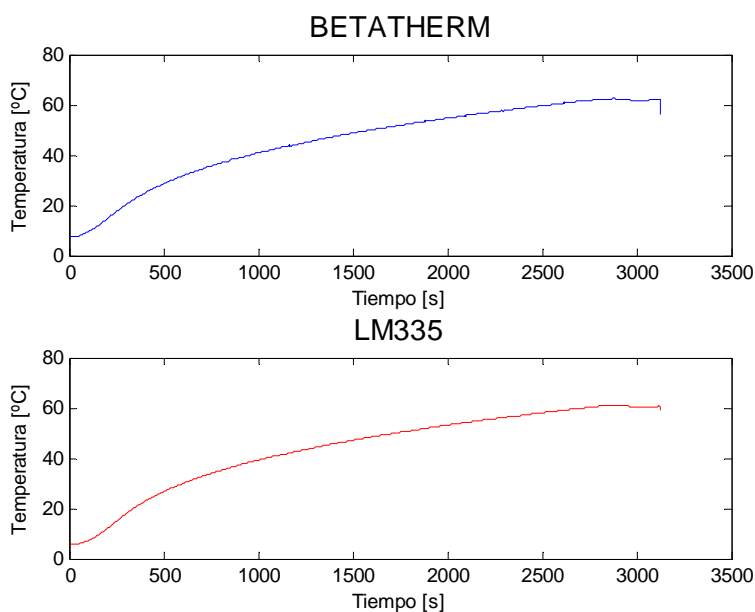


Figura 36. Curva característica Betatherm y LM335 del panel LATERAL 1B

3.2.4. Panel LATERAL 2

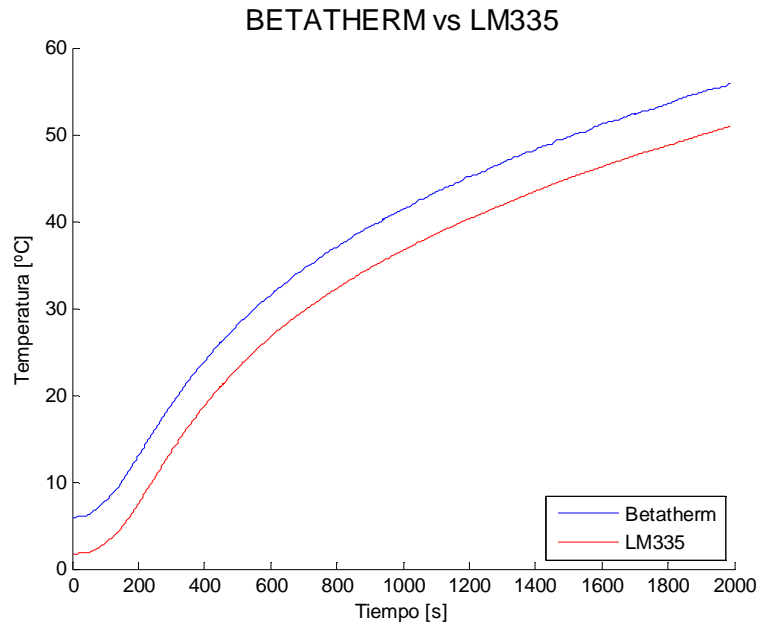


Figura 37. Curva comparativa Betatherm vs LM335 del panel LATERAL 2

La gráfica muestra el comportamiento de los sensores en el gradiente de temperatura aplicado. En este panel se puede observar que el sesgo entre los dos sensores es superior a los paneles anteriores, lo que indica que el sensor de temperatura LM335 debe ser recalibrado o bien se debe corregir su valor de salida. De igual forma, el test corrobora el correcto funcionamiento del sensor.

Las siguientes gráficas muestran el comportamiento individual de cada sensor durante la realización del test.

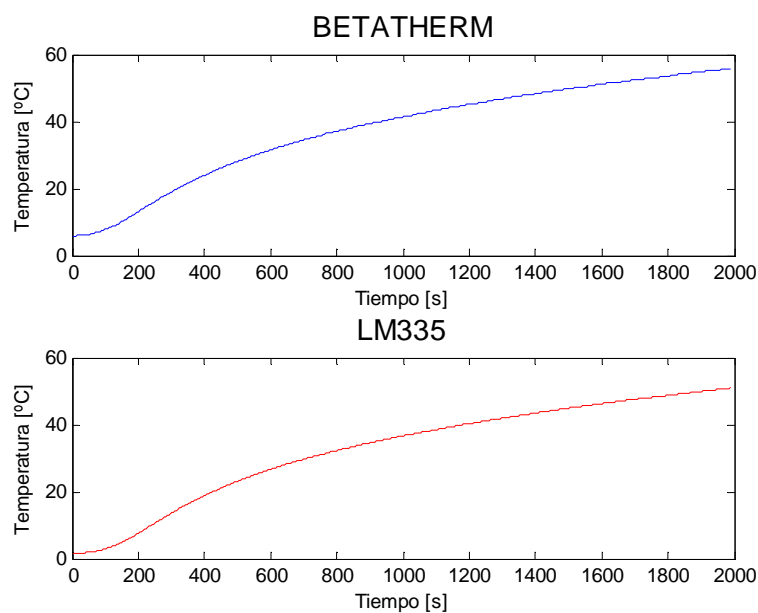


Figura 38. Curva característica Betatherm y LM335 del panel LATERAL 2

3.2.5. Análisis de Resultados del test térmico

Los resultados del test térmico confirman el correcto funcionamiento de los sensores de temperatura LM335 así como de su proceso de instalación.

Si bien los resultados obtenidos son similares para los paneles testeados, se observa que pueden haber diferencias de calibración entre diferentes LM335 que deben ser tenidas en cuenta para la correcta calibración de los sensores LM335 de los paneles solares de vuelo para evitar discrepancias en las lecturas de los diferentes paneles.

Estas variaciones también pueden ser consideradas dentro del rango de error del sensor (± 1 °C).

3.3. Test Solar

Con el objetivo de caracterizar y analizar el funcionamiento de las células solares TASC SPECTROLAB y del fotodiodo SLCD-61N1, se diseñó un test de simulación solar utilizando un cañón de luz de 4300 W de potencia.

La radiación solar que alcanza la Tierra se ve afectada por diferentes factores: latitud, condiciones atmosféricas, contaminación, etc...

Este equipo permite simular la irradiancia solar en el espacio, que está definida en 1395 W/m^2 en el perihelio.

Como elemento de comparación y calibración de irradiancia, se ha utilizado un piranómetro APOGEE SP-110.



Figura 39. Cañón de luz XQ-4000



Figura 40. Piranómetro APOGEE SP-110

El test consiste en aplicar una irradiación lumínica de 1400 W/m^2 utilizando el cañón de luz en un ángulo de 90° a los paneles solares para comprobar el comportamiento y el rendimiento de las células solares TASC SPECTROLAB así como del fotodiodo SLCD-61N1.

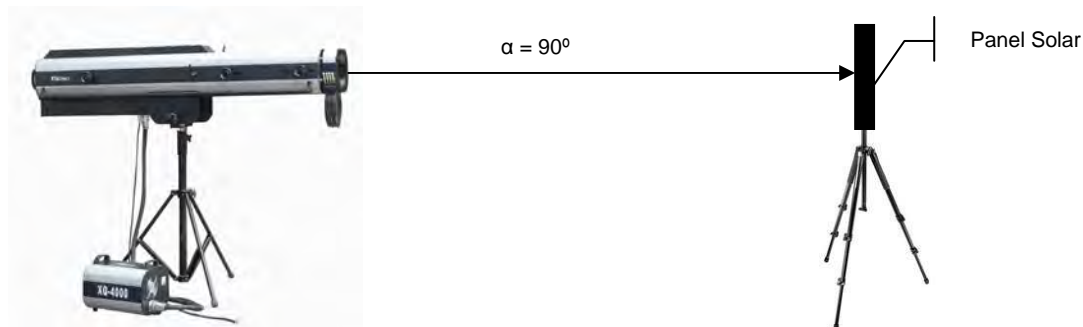
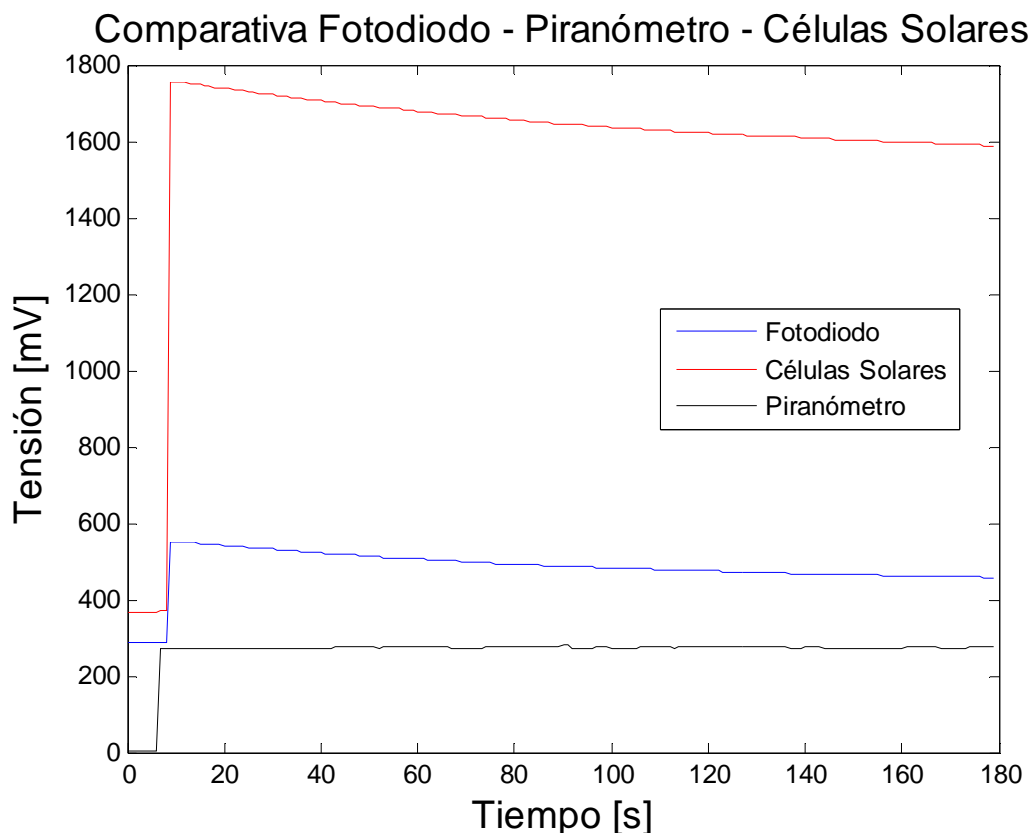


Figura 41. Diseño del test solar

A continuación se presentan los resultados obtenidos en el los test.

3.3.1. Panel TOP



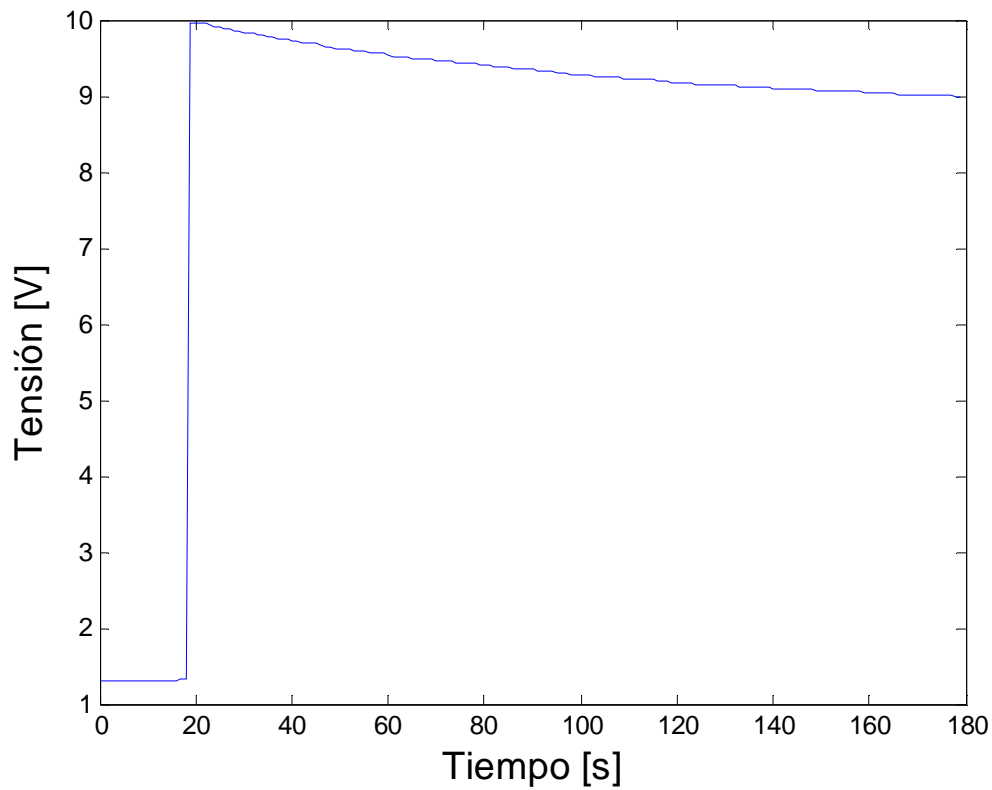
La gráfica muestra el comportamiento del fotodiodo, células solares y piranómetro durante el ciclo de irradiación con el cañón de luz con una irradiancia de 1400 W/m^2 . El piranómetro mantiene su valor constante y sirve de control que el nivel de irradiancia se mantiene constante durante el test.

Se puede observar el rápido tiempo de respuesta de salida de las células solares, factor importante a tener en cuenta pues el UPCSat-1 estará en rotación constante, por lo que los paneles estarán expuestos a la luz solar durante unos segundos.

Las células solares así como el fotodiodo experimentan una pérdida de rendimiento motivada por el aumento de la temperatura a consecuencia de la irradiación lumínica.

Para las células solares, los valores de tensión que se observan en la gráfica son debidos al acondicionamiento necesario para la adquisición de datos utilizando el datalogger, y por tanto, están modificados mediante un divisor de tensión con valor 0,1764

Curva de tensión de las células solares TASC SPECTROLAB



La gráfica muestra el rendimiento de las células solares en valores reales de tensión después aplicar la corrección del divisor de tensión. La pérdida de rendimiento es consecuencia del aumento de temperatura.

Panel BOTTOM

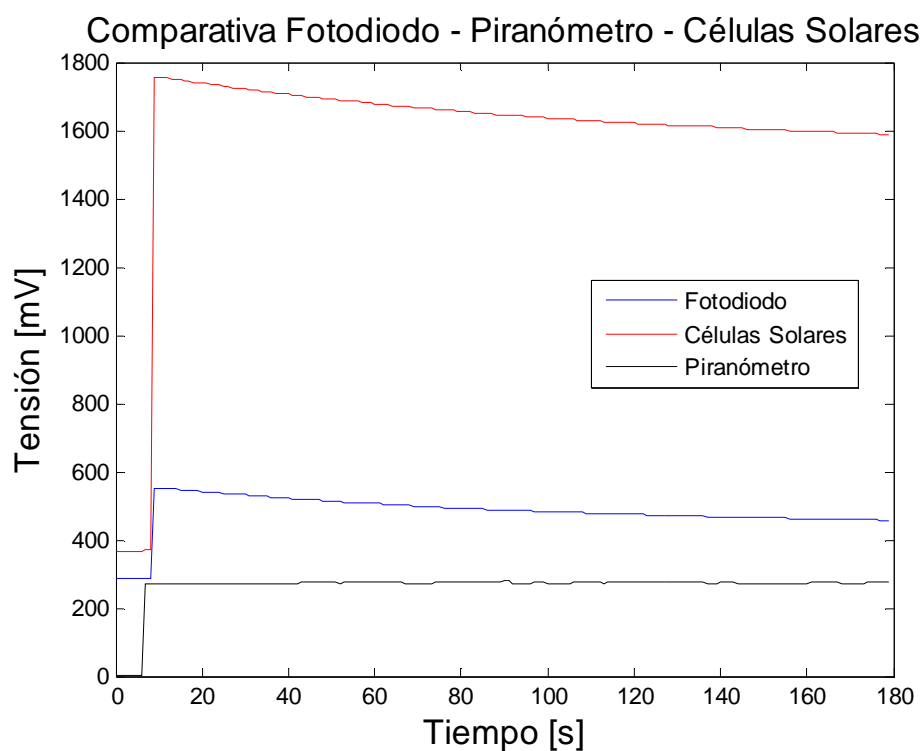


Figura 42. Comparativa células solares, piranómetro y fotodiodo del panel Bottom

Las gráficas muestran el mismo comportamiento que se ha descrito en los anteriores paneles.

Curva de tensión de las células solares TASC SPECTROLAB

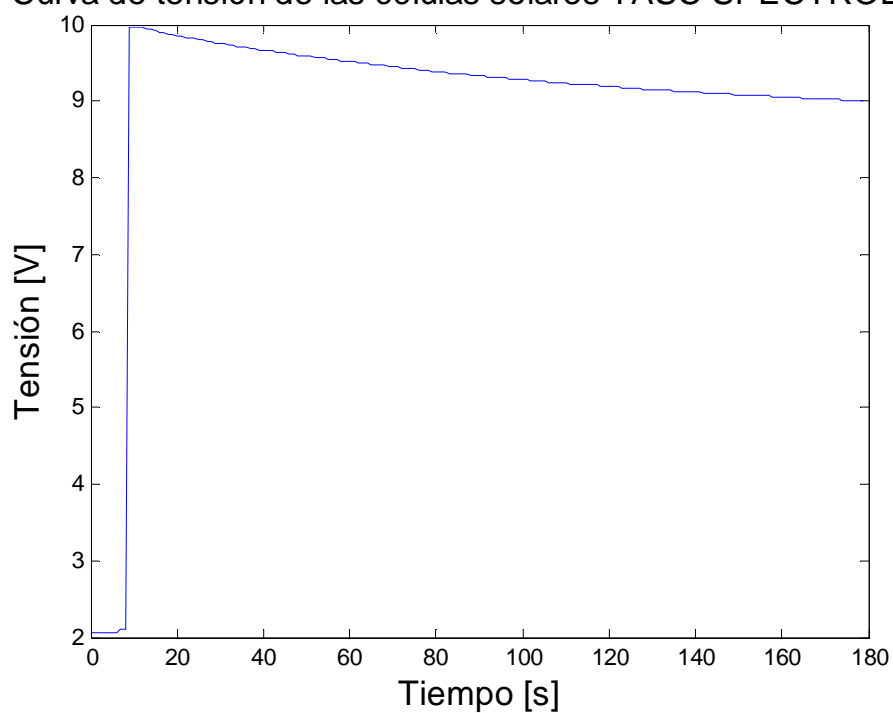


Figura 43. Curva de tensión de las células solares del panel Bottom

3.3.2. Panel LATERAL 1A

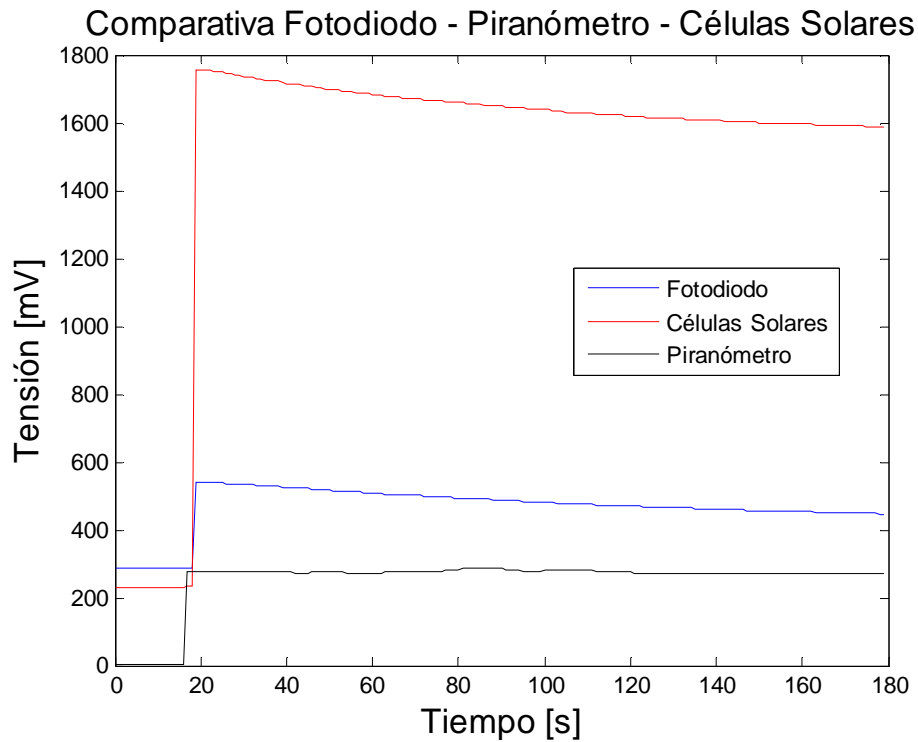


Figura 44. Comparativa células solares, piranómetro y fotodiodo del panel Lateral 1A

Las gráficas muestran el mismo comportamiento que se ha descrito en los anteriores paneles.

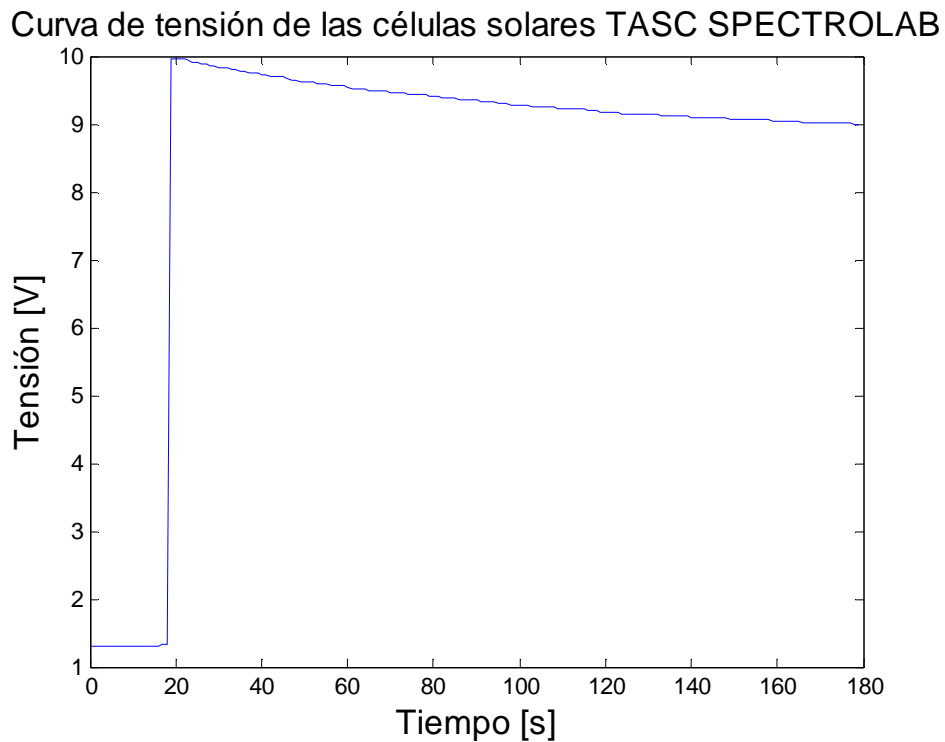


Figura 45. Curva de tensión de las células solares del panel Lateral 1A

3.3.3. Panel LATERAL 1B

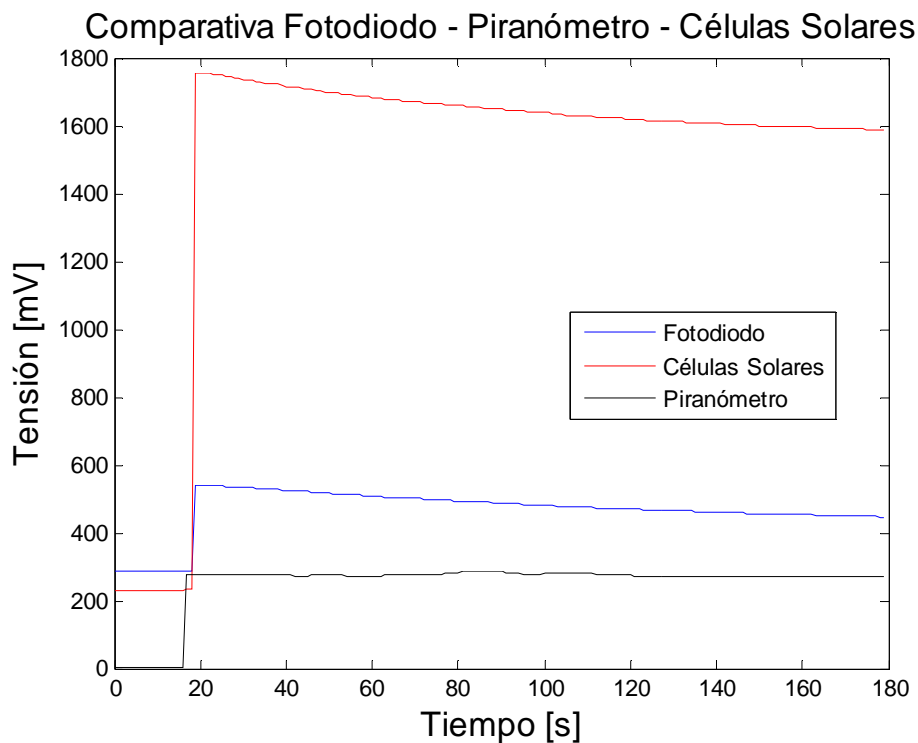


Figura 46. Comparativa células solares, piranómetro y fotodiodo del panel Lateral 1B

Las gráficas muestran el mismo comportamiento que se ha descrito en los anteriores paneles.

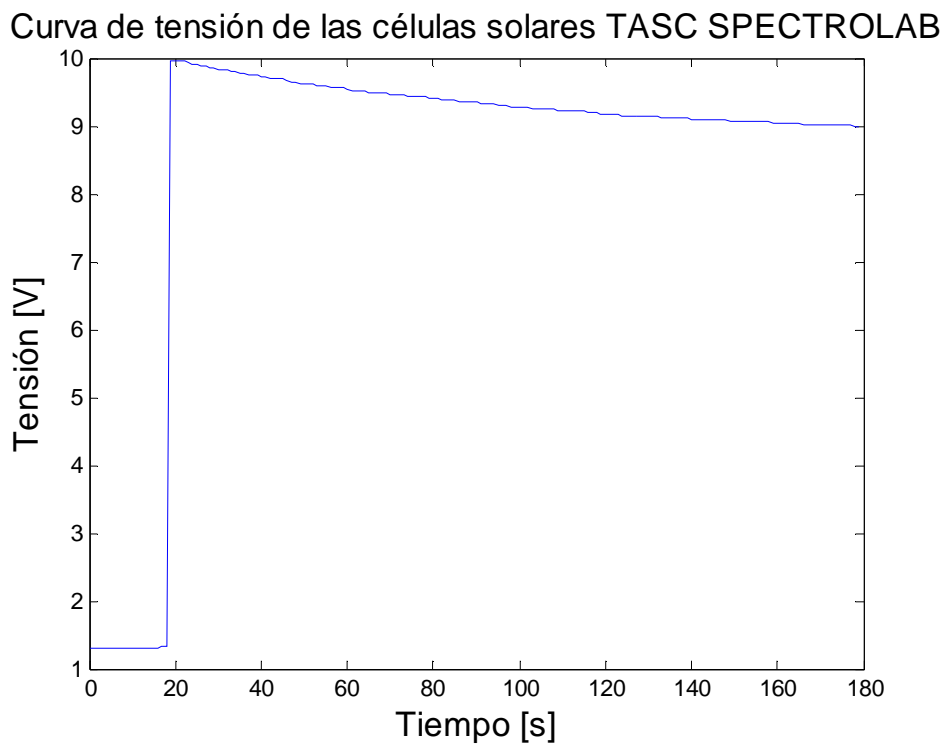


Figura 47. Curva de tensión de las células solares del panel Lateral 1B

3.3.4. Panel LATERAL 2

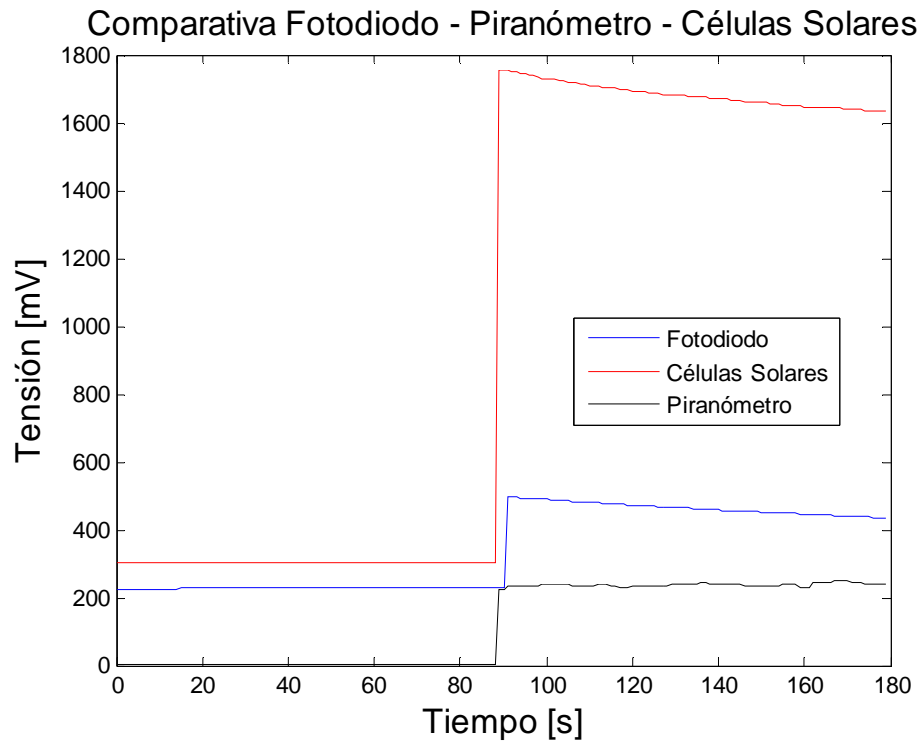


Figura 48. Comparativa células solares, piranómetro y fotodiodo del panel Lateral 2

Las gráficas muestran el mismo comportamiento que se ha descrito en los anteriores paneles.

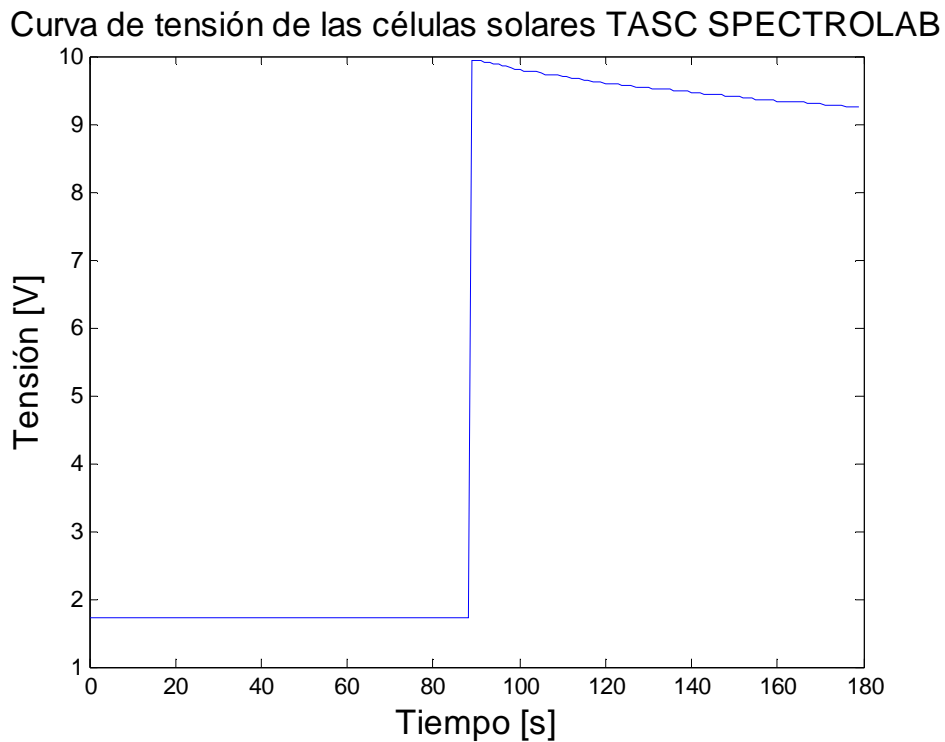


Figura 49. Curva de tensión de las células solares del panel Lateral 2

3.3.5. Análisis de resultados del test solar

Los test realizados utilizando el cañón de luz validan el funcionamiento de las células solares TASC SPECTROLAB.

Los valores de tensión y rendimiento obtenidos de las células solares TASC SPECTROLAB están dentro del rango de valores teóricos esperados, teniendo en cuenta los errores de los acondicionamientos de adquisición de datos así como los rangos de rendimiento de las células solares.

3.4. Test de Vacío

Con el objetivo de comprobar el correcto funcionamiento de los componentes en ambiente de vacío, se ha realizado un test utilizando una cámara de vacío con capacidad para trabajar en un régimen de vacío de presión de hasta 1×10^{-4} Torr. Las pruebas se han realizado en los paneles 1A y 1B a una presión de 9×10^{-3} Bar.

Alcanzada la presión indicada, se utilizó el cañón solar para simular la incidencia solar en el vacío y poder verificar el comportamiento de las células solares y el fotodiodo. Se utilizó el PIRANÓMETRO APOGEE SP-110 para adecuar la radiación lumínica a la radiación solar en el espacio, que es de $1400 \text{ [W/m}^2\text{]}$ (aprox.).

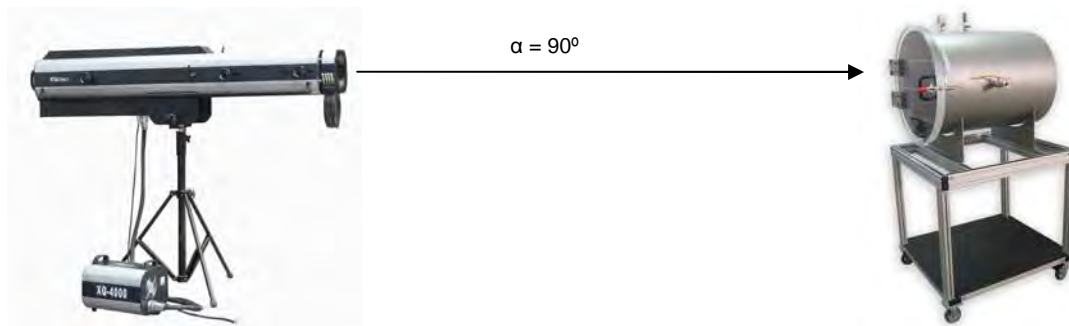


Figura 50. Diseño del test de Vacío.

Se utilizó el cañón de luz para irradiar el panel solar situado en el interior de la cámara de vacío a un ángulo de 90° para comprobar el comportamiento térmico de los paneles así como del sensor de temperatura LM335 y el fotodiodo SLCD-61N1 que equipan los paneles. Como elemento de verificación del sensor de temperatura, se utilizó de nuevo el sensor BETATHERM y para validar el nivel de irradiación se utilizó el piranómetro APOGEE SP-110.

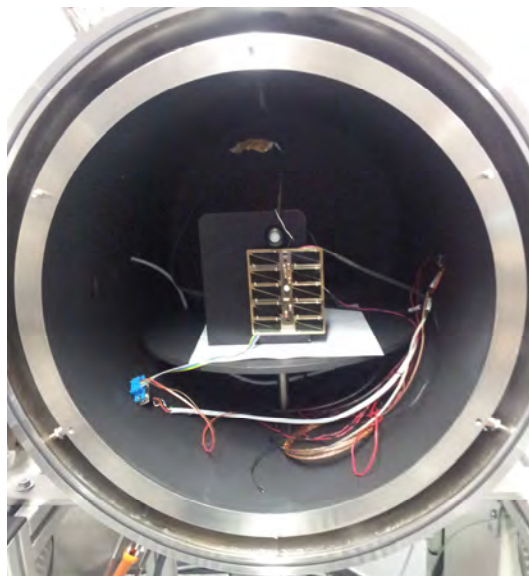


Figura 51. Panel solar en el interior de la cámara de vacío.

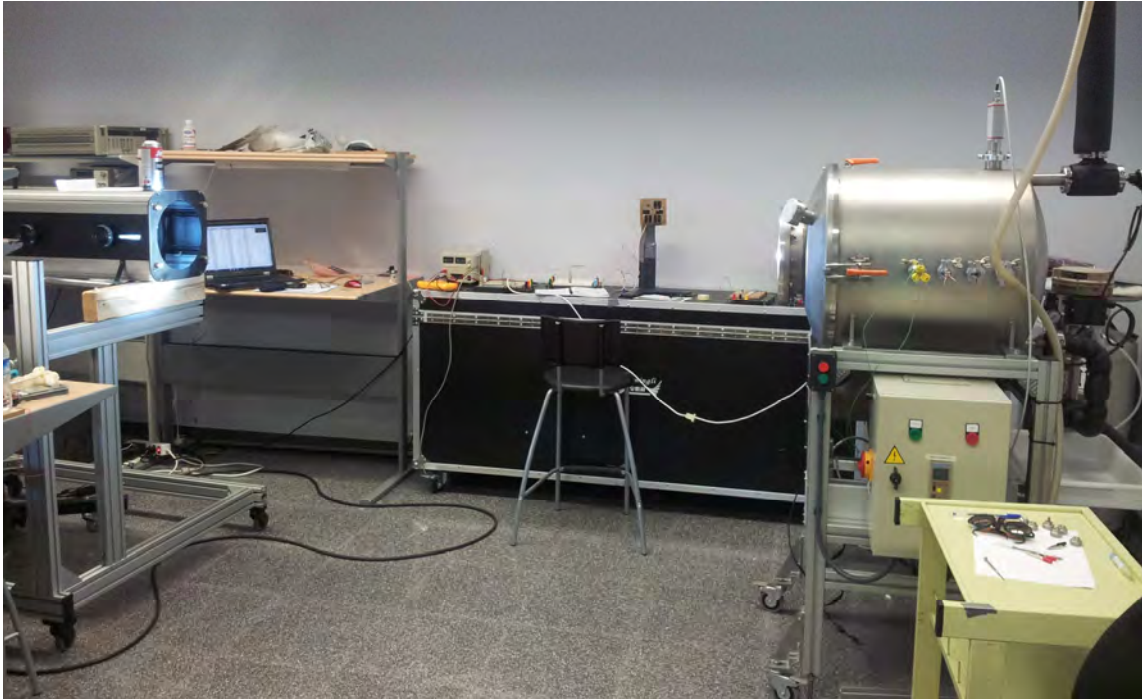


Figura 52. Cañón de luz y cámara de vacío en el durante el Test de Vacío



Figura 53. Cámara de vacío durante el Test de Vacío

Es necesario destacar que los datos obtenidos por el sensor de temperatura LM335 en este test, no pueden ser comparados con el sensor de temperatura del BETATHERM debido a que el sensor de temperatura LM335 al estar acoplado a la placa solar, que tiene recubrimiento de oro como elemento de reflectividad, cuya alta conductividad térmica provocó el aumento de la temperatura de las placas hasta alcanzar valores de 120 °C.

Por este motivo, en el test de vacío, los valores de temperatura indicados por el sensor BETATHERM, han servido como elemento de medida de la temperatura de la cámara de vacío, utilizándose como referencia de la temperatura interior del UPCSat-1.

A continuación se exponen los resultados obtenidos en estos test.

3.4.1. Panel LATERAL 1A

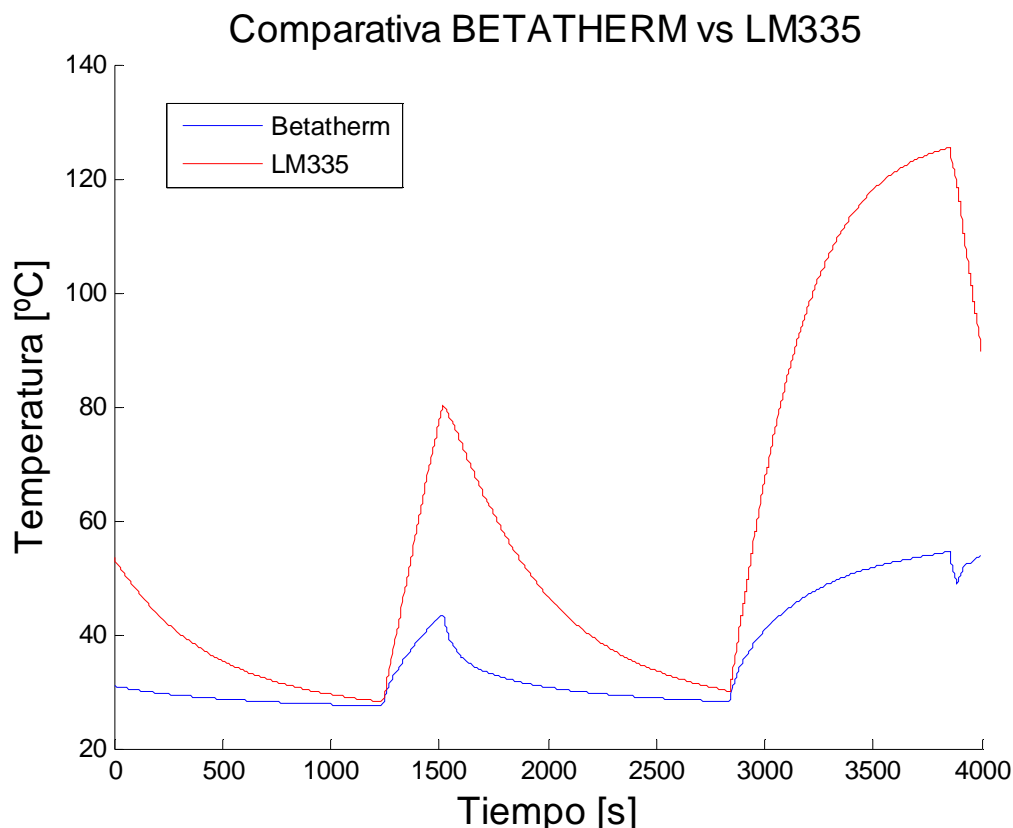


Figura 54. Curva característica Betatherm vs LM335 test de vacío del panel lateral 1A

La gráfica muestra el comportamiento de los sensores de temperatura BETATHERM y LM335 durante los ciclos en que se utilizó el cañón solar para aumentar la temperatura, simulando la radiación solar en el espacio.

Se comprueba de nuevo el comportamiento paralelo de los dos sensores siempre teniendo en cuenta un sesgo entre ambos sensores así como sus tiempos de respuesta. Como se ha indicado en la descripción del test, el sensor de temperatura LM335 está instalado en el panel solar de forma directa, por lo que tiene contacto directo con el recubrimiento de oro, explicando el rápido aumento de su temperatura. Por el contrario, el sensor Betatherm, pese a estar expuesto de forma directa a la irradiación del cañón de luz no está en contacto directo con el panel, por lo que su lectura debe interpretarse como la temperatura media de referencia del interior de la cámara de vacío, que nos sirve como modelo de referencia para la temperatura interior del UPCSat-1.

Durante el test, se alcanzaron temperaturas en el panel de hasta 120 °C en apenas 6 minutos debido al recubrimiento de oro que tiene el panel para aumentar su reflectividad y la protección térmica de los componentes internos del UPCSat-1, siendo un ejemplo del aumento de temperatura en ambientes de vacío cuando se aplica irradiación lumínica.

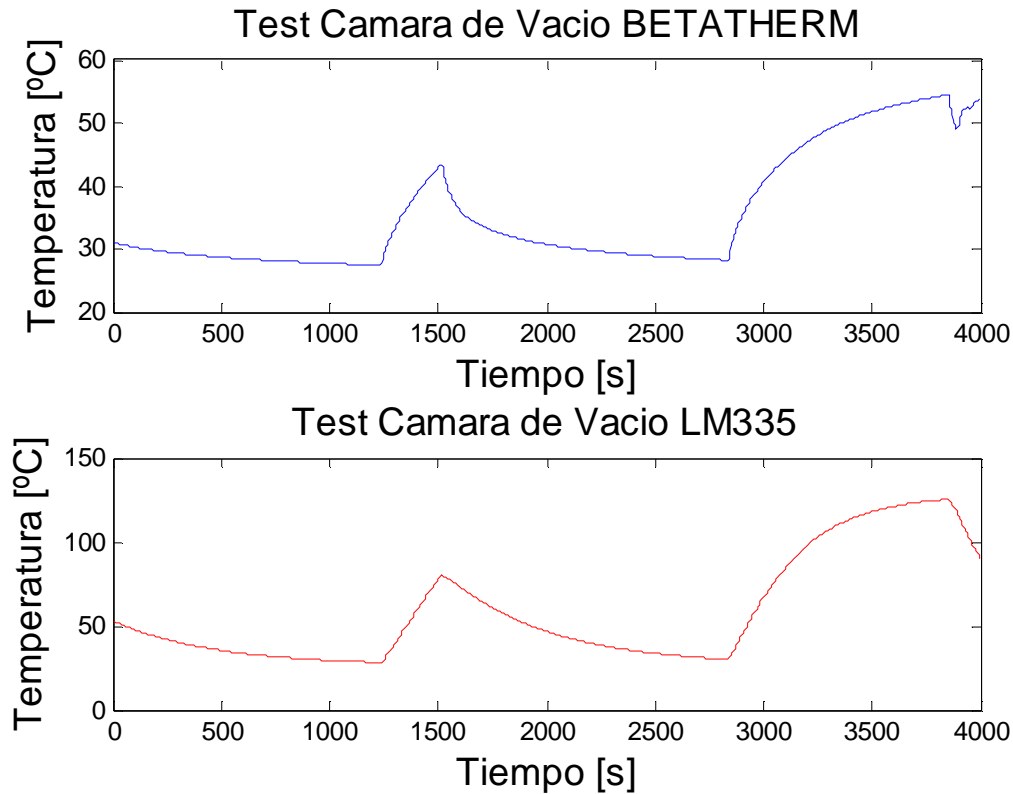


Figura 55. Comportamiento BETATHERM y LM335 en el test de vacío.

Las gráficas muestran el comportamiento de ambos sensores de forma individual, mediante las que se puede observar el comportamiento paralelo de los sensores. El test valida el correcto comportamiento del sensor de temperatura LM335 en ambientes de vacío.

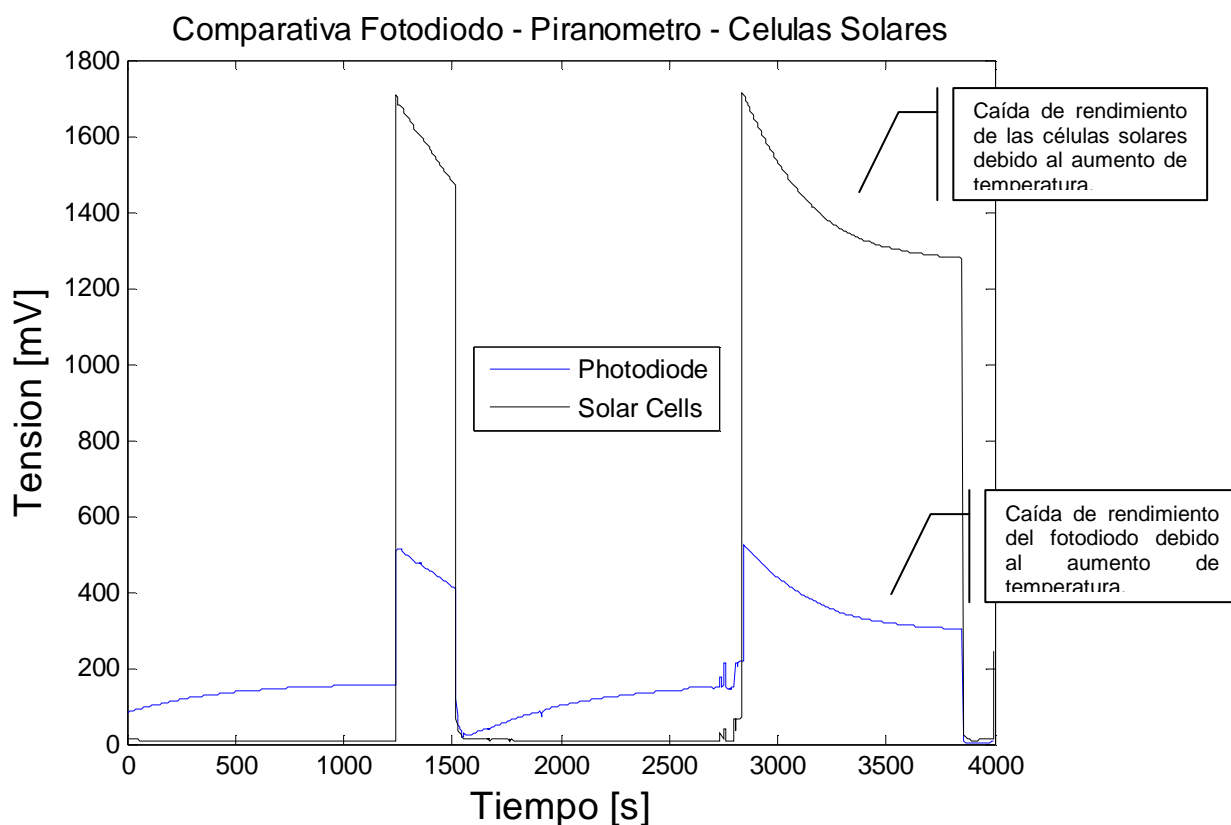


Figura 56. Curvas características fotodiodo SLCD-61N1A vs células solares.

La gráfica muestra el comportamiento de las células solares TASC SPECTROLAB y del fotodiodo SLCD-61N1 durante los ciclos de aplicación de irradiación con el cañón de luz simulando una irradiación de 1400 W/m².

Se observa como el rendimiento de ambos componentes se reduce debido al aumento de la temperatura, lo cual concuerda con las especificaciones de los datasheet de ambos componentes.

Las células solares TASC SPECTROLAB tienen un coeficiente de temperatura de -6,2 mV/°C, por lo que a una temperatura de 120 °C experimenta una caída de 600 mV.

Es necesario tener en cuenta que la tensión de las células solares representada en esta gráfica es debido al divisor de tensión con valor 0,1764 para la entrada del datalogger

El mismo comportamiento se observa para el fotodiodo SLCD-61N1 debido a que este componente es igualmente una célula solar, con el mismo principio de funcionamiento, si bien el datasheet no indica coeficiente de temperatura porque no es utilizado para su exposición a altas temperaturas.

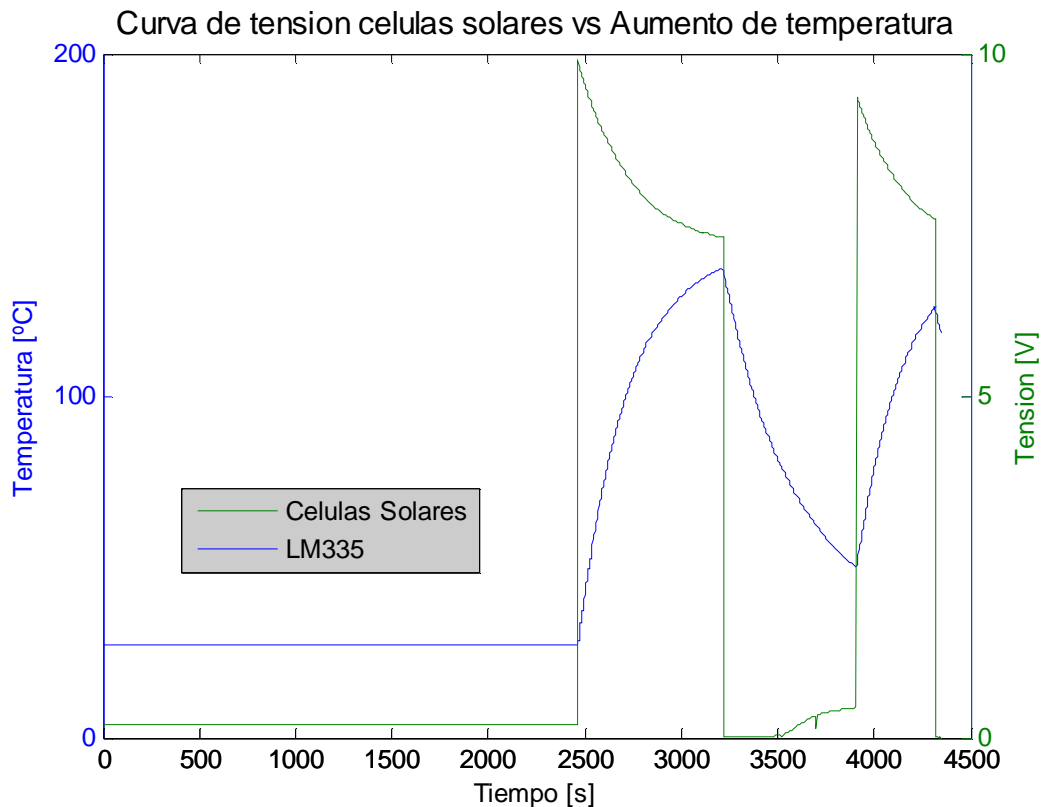


Figura 57. Curva característica LM335 vs células solares TASC SPECTROLAB

En esta gráfica se puede observar la caída de rendimiento de las células solares TASC SPECTROLAB en función del aumento de la temperatura.

Aplicada la corrección del divisor de tensión para la entrada del datalogger, podemos observar como la tensión de las células solares en el momento inicial de exposición (10 V) se corresponde con los valores teóricos de rendimiento calculados para las células.

Como se ha descrito anteriormente, esta pérdida de rendimiento viene determinada por el coeficiente térmico de las células.

3.4.2. Análisis de resultados del test de vacío

Los test de vacío validan el correcto funcionamiento de los componentes analizados así como el procedimiento de montaje de los paneles.

Se han validado los cálculos teóricos de rendimiento de las células solares TASC SPECTROLAB y verificado el comportamiento térmico de las células, así como la pérdida de rendimiento en función de la temperatura.

El sensor de validación BETATHERM y el PIRANÓMETRO han funcionado como sensores de control y validación, ayudando a recrear con el máximo de precisión posible las condiciones en el espacio.

La cámara de vacío y el cañón de luz, utilizados por primera vez en la realización de estas pruebas, han mostrado su capacidad para la realización de test y pruebas para el resto de elementos que conforman el UPCSat-1.

CAPITULO 4. SENSOR ÓPTICO

4.1. Micro cámara C328

La cámara C328 fue seleccionada para ser utilizada en el UPCSat-1 debido a su reducido tamaño y peso, pero por encima de todo, por tener incluido el módulo de compresión JPEG que ofrecía la posibilidad de obtener fotografías con una resolución de hasta 640x480 de forma directa y sin necesidad de procesamiento posterior, lo cual ofrecía una ventaja significativa respecto a otras cámaras que requerían un procesamiento de compresión de imagen, necesario en cualquier caso debido a las limitaciones de memoria de almacenamiento y link budget de las ventanas de transmisión del UPCSat-1.

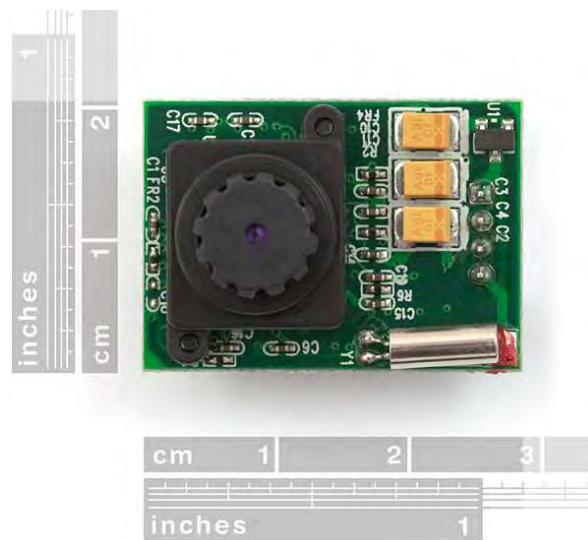


Figura 58. Micro cámara C328

Los requerimientos de consumo eléctrico del dispositivo (3,3V) se adaptan perfectamente a las limitaciones del UPCSat-1.

La cámara dispone de una conexión UART que permite enviar la imagen hasta una velocidad de 115 kbps, lo que reduce el tiempo de transmisión de imágenes. La configuración y comunicación a través del puerto UART ha sido fuente de numerosos problemas y errores, provocados por la falta de información y definición sobre los tiempos de espera de las comunicaciones entre la cámara y el ordenador de a bordo.

Para realizar la conexión de la cámara con el módulo de control, se desarrolló una placa de desarrollo para poder ser utilizada con la placa de desarrollo del kit de PUMPKIN, al mismo tiempo que se interconectaba con la memoria de 256 KB SPI que equipa el UPCSat-1 como medio de almacenamiento de datos.

4.2. Descripción de funcionamiento cámara C328

La cámara C328 dispone de una EEPROM que almacena los comandos de control y de comunicación entre el HOST y la cámara. Mediante estos comandos, es posible comunicarse con la cámara, configurar el comportamiento del sensor así como establecer los parámetros de captura de imágenes.

Los comandos de control son comandos serie estándar, constituidos por un bit de inicio (siempre es 0), 8 bits de información, y un bit de final (siempre es 1).

Un comando está constituido por 6 bytes de información. A continuación se presenta como ejemplo: envío del comando SYNC (AA 0D 00 00 00 00)

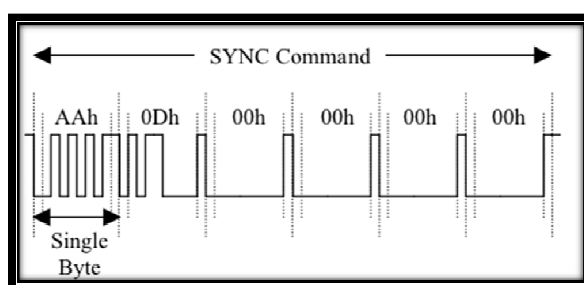


Figura 59. Ejemplo de comando de control de la cámara C328-7640

La cámara dispone de 11 comandos de control y configuración que son los que se han utilizado para la realización del código de control del sensor desde el ordenador de a bordo.

Comando	ID Number
Initial	AA01
Get Picture	AA04
Snapshot	AA05
Set Package Size	AA06
Set Baudrate	AA07
Reset	AA08
Power Off	AA09
Data	AA0A
SYNC	AA0D
ACK	AA0E
NAK	AA0F
Light Frequency	AA13

Tabla 7. Tabla de comandos de control de la cámara C328-7640

Como se ha indicado anteriormente, cada comando de control está compuesto por 6 bytes de información. Los dos primeros bytes son el identificador de comando, mientras que los 4 bytes restantes son la configuración propia del comando.

4.3. Integración cámara C328 con el ordenador de a bordo

El UPCSat-1 estaba equipado con un ordenador de a bordo (OBC – On Board Computer) PUMPKIN MOTHERBOARD 710-D, equipada con un microcontrolador MSP430 F1612 de 16 BITS y bajo consumo, diseñado específicamente para cumplir los estándar CUBESAT de tamaño, peso y consumo eléctrico.

Una de las reglas y criterios de construcción de los picos satélites basados en el estándar CUBESAT es el uso de elementos comerciales de alta disponibilidad y bajo coste para los sistemas y subsistemas considerados de baja criticidad, como por ejemplo los sistemas de energía (baterías), sensores ópticos (cámaras), mientras que los sistemas considerados de alta criticidad se equipan con elementos y componentes de diseño específico y con calificación de uso en espacio.

El ordenador de a bordo, como centro de control principal del UPCSat-1 se consideró un sistema de alta criticidad y por ello se decidió el uso de este componente específico.



Figura 60. Ordenador de a bordo de vuelo PUMPKIN FLIGHT MODULE 710-D

Este ordenador de a bordo, se vende conjuntamente con una placa de desarrollo para el diseño, integración y test de los diferentes elementos que equipan los CUBESAT. Esta placa de desarrollo contiene los mismos elementos de procesamiento y comunicación que el ordenador de a bordo de vuelo, pero con mayor capacidad de conexión para facilitar la conexión y el test de todos los elementos que han de ser controlados por el ordenador de a bordo.



Figura 61. Placa de desarrollo del ordenador de a bordo PUMPKIN DEVELOPMENT 710-D

Para acoplar la cámara C328 a la placa de desarrollo, se diseñó una placa de conexionado que permite acoplar también la memoria de 256 KB SPI, necesaria para el almacenamiento de las capturas, así como otros subsistemas que equipan el UPCSat-1

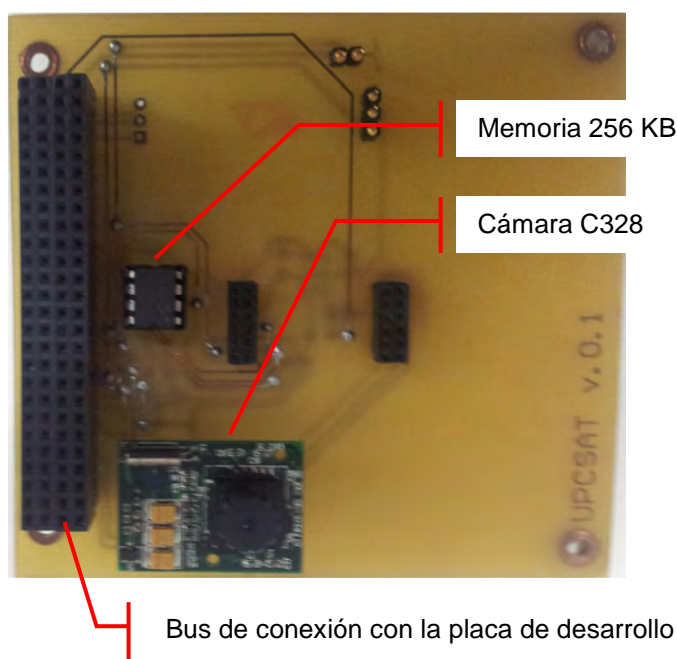


Figura 62. Placa de conexión cámara C328, memoria 256 KB SPI.

La placa de conexionado de subsistemas, al equipar el mismo bus de conexión principal de comunicaciones que el ordenador de a bordo de vuelo PUMPKIN 710-D, permite acoplar de forma vertical el resto de sistemas del UPCSat-1 a medida que son desarrollados. La siguiente foto muestra la placa de desarrollo PUMPKIN DEVELOPMENT 710-D con la placa de conexión de subsistemas equipada con la cámara C328 y la memoria 256 KB SPI.



Figura 63. Placa de desarrollo PUMPKIN DEVELOPMENT 710-D con la placa de conexión de subsistemas.

4.4. Programación Cámara C328

El ordenador de a bordo PUMPKIN FLIGHT MODULE 710-D debía programarse utilizando un sistema operativo en tiempo real propietario de PUMPKIN denominado SALVO. Este sistema operativo propietario ofrecía la ventaja de tener una base creada a partir de la cual únicamente era necesario el desarrollo de los diferentes módulos de los subsistemas que equipa el UPCSat-1.

El funcionamiento básico del sistema operativo en tiempo real SALVO se basa en el uso de un programador denominado SCHEDULER. Este programador es responsable de determinar que tareas debe realizar el sistema operativo en cada momento.

Para el desarrollo del código, se utilizó el software de compilación CrossWorks for MSP430 de la empresa Rowley Associates.

El diseño de la programación de la cámara C328 tenía como objetivo principal programar el sensor óptico para la captura de imágenes y su almacenamiento en la memoria 256 KB para que posteriormente fueran transmitidas utilizando los sistemas de comunicación.

El desarrollo de la programación se inició a partir de un programa base que iniciaba el sistema operativo SALVO e iniciaba la comunicación con la cámara C328. Este programa base estaba desarrollado en la versión 1.8 del sistema operativo SALVO, pero en el momento de inicio de este proyecto, la versión de SALVO era la 2.1. Este salto de versión provocó que el programa base de control de la cámara C328 dejara de funcionar con la nueva versión, pues se comprobó que las librerías de código del sistema operativo habían cambiado.

Fue necesaria una ardua y tediosa tarea manual de cambio de nomenclatura de las funciones de control del sistema operativo debido a la falta de documentación de las nuevas versiones de las librerías de SALVO para adaptar el código a la nueva versión. En esta fase de adaptación, se detectaron problemas de inicio del sistema operativo que fueron solucionados editando manualmente las librerías de código.

4.5. Diagrama del protocolo de comunicación de la cámara C328.

La programación de la cámara C328 se basa en la ejecución del protocolo que se describe en la siguiente figura y cuyo código se ha adjuntado en el anexo I.

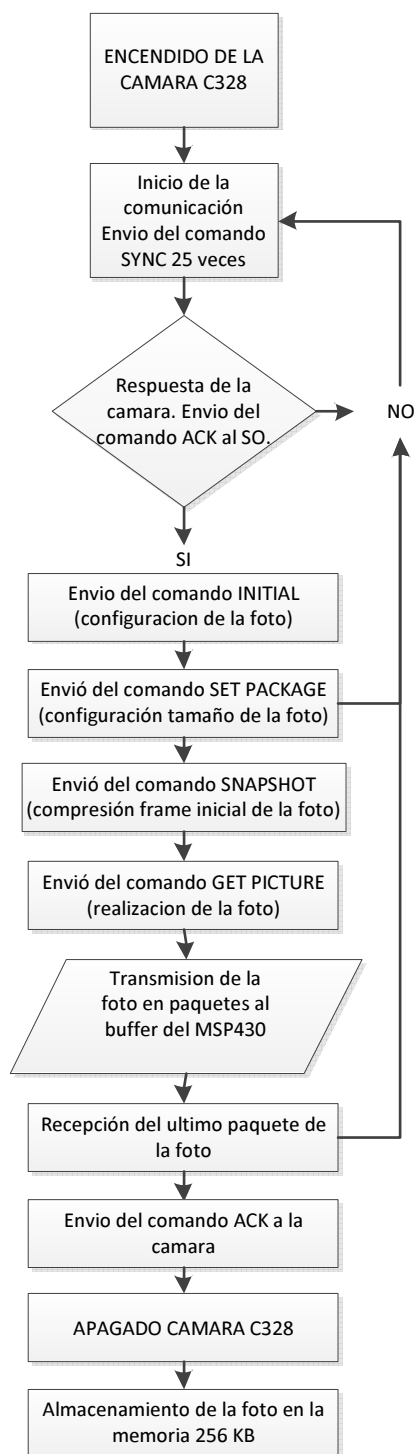


Figura 64. Protocolo de comunicación con la cámara C328

4.6. Substitución del sensor óptico y del ordenador de a bordo

Durante la implementación del protocolo de comunicación de la cámara C328 se detectaron numerosas incompatibilidades entre la configuración de los puertos UART del microprocesador, la placa base PUMPKIN y la cámara C328.

Estas incompatibilidades provocaban el fallo de la comunicación en diferentes momentos del protocolo provocando el reinicio del proceso de realización de la foto, lo que imposibilitaba determinar el origen del error. La depuración del código mejoró y redujo la frecuencia de los cortes de comunicación, pero no se consiguió obtener un código que no produjera estos cortes de comunicación que imposibilitaban el correcto funcionamiento del sistema.

Se decidió reiniciar completamente el código y verificar paso a paso el protocolo de comunicación, con lo que se consiguió la recepción de paquetes de la foto, que una vez almacenada no era posible su visualización. La verificación de los paquetes mediante la edición hexadecimal de los mismos determinó que se obtenía un fichero de imagen correcto, pero la imposibilidad de visualización correcta de la imagen parecía indicar que existía un error en la cámara C328.

La cámara C328 puede ser utilizada mediante un conector serie RS-232 controlada por un programa propietario del fabricante que permite ser utilizada bajo un sistema operativo Windows. Mediante este sistema de conexión y control, se validó el correcto funcionamiento de la cámara, pues se obtenían fotografías con la misma configuración que se utilizaba en el sistema operativo Salvo. Esta verificación de funcionamiento demostraba que el error se encontraba o bien en la programación del protocolo, o bien en un error de comunicaciones entre el procesador MSP430 y la placa base.

Se realizó una búsqueda intensiva en internet de ejemplos de uso de la cámara C328 y se comprobó que uno de los problemas que provocaba errores de comunicación eran los tiempos de espera entre los envíos de los comandos en el código. El datasheet de la cámara C328 no especificaba ningún tiempo de espera entre comandos, pero cuando se incorporaban estos tiempos, el número de errores se reducía drásticamente. Este proceso de programación de tiempos de espera resultó de nuevo arduo y tedioso aunque se fue resolviendo a base de prueba-error. Se llegaron a recibir archivos de imagen corruptos; pues mediante comprobación del código hexadecimal de la imagen se verificaba el encabezado de un archivo jpeg y el pie de página que lo cerraba. Algo sucedía en la transmisión de los paquetes intermedios y aun así, el código no ofrecía consistencia, pues no era posible obtener funcionamientos continuados del protocolo, recibiendo errores aleatorios en diferentes momentos del proceso de comunicación.

Se decidió utilizar una segunda cámara C328, un segundo procesador MSP430F1612 y una segunda memoria de 256 KB, pero la substitución de estos sistemas no solucionó los problemas de comunicación, y tampoco se pudo obtener en ningún caso una foto visible.

A finales de noviembre 2011 todo el código realizado dejó de funcionar de un día para otro sin razón aparente. Se probaron versiones guardadas en back-up, se realizaron números intentos para solucionar los problemas de comunicación que incluyeron diversas revisiones del código y de las librerías del sistema operativo, se comprobó el funcionamiento de los diferentes puertos de comunicación UART mediante osciloscopio, etc. Ninguna de estas actuaciones dio resultados positivos.

Tampoco dio resultado la sustitución de cámara, la memoria de 256K e incluso un nuevo microprocesador. Se determinó que se había producido un fallo en la placa de desarrollo del ordenador de a bordo PUMPKIN DEVELOPMENT 710-D.

Los altos costes de adquisición de una nueva placa base PUMPKIN DEVELOPMENT 710-D (1300€), la falta de información, soporte y complejidad del sistema operativo SALVO así como la ingente cantidad de horas y recursos invertidos en el desarrollo de este subsistema, determinaron junto con la falta de garantías que ofrecía la cámara C328, que se abandonaban estos dispositivos e iniciar un nuevo proceso de adquisición de sistemas alternativos.

CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES DEL PROYECTO Y LINEAS FUTURAS

Este proyecto demuestra la capacidad que tienen las universidades para desarrollar equipos complejos y sofisticados con costes reducidos. La contribución de este TFC ha sido de vital importancia para el desarrollo del UPCSat-1 pues ha permitido cerrar el desarrollo de los paneles.

Se ha presentado el proceso de montaje de los paneles solares que han de equipar el pico satélite UPCSat-1. Este proceso de montaje describe el protocolo de montaje que garantiza una correcta instalación de los diferentes componentes que equipan los paneles solares. El uso de EPOXY conductora como sustituto del estaño se ha demostrado práctico y eficaz, si bien requiere de un proceso de experimentación y practica para obtener la precisión requerida. Durante el proceso de montaje se han detectado errores en diferentes fases del proceso, que ha permitido adquirir experiencia en la manipulación de este tipo de diseños y componentes para poder obtener paneles solares con un alto grado de perfección, tanto en el montaje como en rendimiento de los mismos.

Los test realizados a los componentes que equipan los paneles solares han corroborado el excelente rendimiento de las células solares TASC SPECTROLAB y su caracterización ha permitido entender su posible comportamiento en el espacio. El uso de la cámara de vacío y del cañón solar han permitido realizar pruebas creando ambientes y condiciones muy próximas a las condiciones a las que van a ser expuestos los paneles solares en el espacio. Estos test también han servido para validar el correcto funcionamiento de componentes comerciales de bajo coste en ambientes con condiciones similares a las del espacio, tal y como se ha realizado con el sensor de temperatura LM335 y el fotodiodo SLCD-61N1.

Los esfuerzos realizados para conseguir el funcionamiento un sensor óptico y el ordenador de a bordo no han conseguido el resultado deseado. Aún así, se ha demostrado que en ocasiones, componentes de calificación espacial y alto coste, carecen del soporte adecuado en cuanto a documentación para que puedan ser utilizados sin tener una experiencia previa en estos sistemas específicos.

En la fecha de presentación de este proyecto, el ordenador de a bordo PUMPKIN 710-D ha sido substituido por un ordenador de a bordo PORTUX G20, con un coste notablemente inferior (200€) y prestaciones muy superiores. Aunque este sistema no tiene calificación de espacio, su bajo coste así como la posibilidad de ser programado utilizando software libre ofrece mayores garantías de funcionamiento. La micro cámara de fotos C328 ha sido substituida por una micro cámara LINKSPRIT LS-Y201-IR-TTL.

Lamentablemente, la falta de tiempo para la realización de este proyecto ha imposibilitado el inicio de los trabajos con el nuevo ordenador y la nueva cámara. Este trabajo que quedará para futuros estudiantes de TFC/PFC.

BIBLIOGRAFIA

- [1] H Heidt, J Puig-Suari, AS Moore, S Nakasuka, R J Twiggs, *CubeSat: A new Generation of Picosatellite for Education and Industry Low Cost Space experimentation*. Proceedings of the 14th Annual/USU Conference on Small Satellites, 2001.
- [2] California Polytechnic State University, *CubeSat Design Specification*. Revision12
URL: http://www.cubesat.org/images/developers/cds_rev12.pdf
- [3] I Nanson, J Puig-Suari, R Twiggs, *Development of a Family of Picosatellite Deployers Based on the CubeSat Standard*. Aerospace Conference Proceedings, IEEE 2002.
- [4] Lars Alminde et al., *Educational value and lessons learned from the aau-cubesat project*. Technical report, Aalborg University (Denmark), 2003.
URL: <http://vbn.aau.dk/fbspretrieve/168186/fulltext>
- [5] JBouwmeester et al., *Premimnary mission results and project evaluation of the delfi-c3 nano-satellite*. Technical report, Technical University Delft, 2003.
URL: http://www.aprsaf.org/feature/feature_072.pdf
- [6] J.Elstak, *A Comparative Analysis of Project Management and Systems Engineering Techniques in CubeSats Projects*. PhD thesis, Technical University Delft, July 2007.
URL: <http://aausatii.space.aau.dk/homepage/en/dok/Handover/DELFI.C3.TW.033%20-%20Thesis%20Joost%20Elstak.pdf>
- [7] Wiley J. Larson et al., *Space Mission Analysis and Design*. Kluwer Academic, 3rd edition, 1999.
- [8] A Sanchez Vila, J Serra Font, *UPCSat-1, Analysis, Design and Bread-boarding of a University Picosatellite*. Final Degree Project, March 2010.
- [9] Pumpkin Inc., *CubeSat Kit User Manual*. April 2005.
- [10] Pumkin Inc., *Salvo User Manual*. Pumpkin Inc., Version 4.1.2 edition.
URL: <http://www.pumpkininc.com/content/doc/manual/SalvoUserManual.pdf>
- [11] Pumkin Inc., *Salvo Compiler Reference Manual*. Pumpkin Inc., April 2008.
- [12] Spectrolab, *TASC Solar Cells Product Description*. Spectrolab Inc., October 2002.
- [13] Texas Instruments, *MSP430x1xx Family, User Guide*. Revision F edition, February 2006.

